國 防 部 整 評 司 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：串流資料運用於 STORM 圖資服務之研究			計畫期程：112 年
分年經費規劃：			
全期經費額度：			研究領域：資訊工程
提案單位：國防部整評司　　聯絡人：謝錕鈺秘書　　電話：02-85099295			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	在有限國防資源限制下，如何建議建軍備戰重大建案之效益，並積極推動國軍模式模擬政策規劃及執行，國防部引進美國空軍研發之新一代建軍規劃模擬工具—合成化戰場作戰研究模式(Synthetic Theater Operation Research Model, STORM)，此工具可執行戰區層級之分析，主要運用於幫助決策者在聯戰層級下，全方位評估軍事策略、能力、兵力結構及作戰效益。 而軍事模式的仿真模擬除了演算法、想定、兵力裝備參數外，地形資料除了影響模擬結果外，對於整體模擬成果的展現更為重要關鍵。STORM 對於參數資料管理採用文字檔案，模擬所需地形資料編輯不易、模擬結果圖臺僅能使用 Openmap (http://openmap-java.org)，導致地形資料管理及圖臺顯示除耗費人力外，亦無法呈現大量及多樣的地形圖資。 國軍圖資生產業管單位所提供資料，因缺乏模擬所需屬性資料，須另行編輯與修正外，囿於 Openmap 圖資格式及功能，若直接運用將導致系統執行效能降低，且地圖資料僅涵蓋臺灣地區，明顯不足。另國軍軍事模擬具有機敏特性，實際作業環境為封閉式內部作業網路，對於應用軟體建置及地圖資料取得，均為挑戰項目之一。 自由軟體的發展及開放式地理資訊系統協會(Open Geospatial Consortium, OGC)定義各類型地形資料格式及資料伺服器規範，目前已逐步由各大電腦軍事軟體及模擬系統所採用。因網際網路的發展與建置，串流資料(Stream Data)已充分運用於日常生活如影音、大數據分析等，而在地圖資料的提供部分，可以透過網路提供大量及多樣化的地理圖資。 如何國軍封閉網路作業環境下，有效管理地形資料及提供 STORM 豐富的圖資種類，則為本研究主要探討課題。	

二	計畫目的	STORM 採用開放源碼(Open Source)架構進行設計及開發,除了模擬後的資料倉儲提供較為完善之使用者介面外，其餘如參數建立、地形資料管理等,通常需要使用文字檔,需要使用者依照規定格式輸入。在模擬解果的呈現上,雖提供 Openmap 圖形顯示平臺,受限於 STORM 所使用 Openmap 版本及功能，對於國軍現有圖資的應用仍有不足。 為提升 STORM 對於地形資料管理與運用成效，本研究主要著眼於配合 STORM 系統規格，建立獲得、處理與儲存地形資料之有效機制,並著眼於模擬後成果展現圖臺(Openmap)提供更多元之向量及影像圖資。圖資範圍置重點於臺海地區，運用網路可以運用之地圖資源，除臺灣地區外，中國東南沿海地區圖資亦包含在資料蒐集範圍。 配合國軍封閉式網路作業環境，嘗試建立地圖資料編輯工具，提供軍事模擬單位實施地圖資料編輯與屬性資料輸入，建立更趨於仿真模擬的地形資料；另建置 OGC 所規範之地圖服務功能，將所獲得的地圖資料(影像、向量)提供 STORM 連接使用。
三	研究議題	1. STORM 現行版本使用圖資種類、格式及使用單位需求。 2. 透過國軍圖資產製單位及網路蒐集所需圖資，區域範圍能符合想定地區。 3. 在內部封閉式網路環境建立地理圖資編輯工具與管理機制建議。 4. 運用所蒐集之影像與向量建立地理圖資服務機制，提供 STORM 連接使用。 5. STORM 地理圖資使用功能更新與測試。
四	運用構想	1. STORM 地形資料及參數屬性編輯與管理。 2. 模擬回顧圖資平臺(Openmap)呈現符合需求之圖資。 3. 圖資服務功能提供其他模擬系統連接與測試。 4. 對美方 STORM 升級及改進建議參考及依據。
五	技術備便水準評估	本研究主要提升合成化戰場作戰研究模式(STORM)之顯示圖臺(Openmap)進行研究,並依國軍作戰模擬之需求蒐整臺灣地區（包含大陸東南地區）所需之圖資，並建置地圖圖資伺服器，以解決 STORM 之顯示圖臺效能不足之處，進而提升國軍作戰模擬效益評估之能力。目前，有關 STORM 顯示圖臺之圖資伺服器尚無相關商用軟體可支援,其技術備便水準為 TRL2,經由本研究案執行完成後 STORM 顯示圖即可透過圖資伺服介接作戰模擬所需之圖資。其技術備便水準可提升至 TRL3。

六	期程工項	填寫說明：請分年列述預劃工項，並區分校方與提案單位說明執行項目(全部委託校方執行則免)，若涉及實體產出，應律定測試驗證方式。

項次	工作項目	111 年											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	資料蒐集與文獻研讀分析												
2	蒐整臺海防衛作戰模擬區域的向量、影像圖資並建構圖資資料庫												
3	內部封閉式網路環境建立地理圖資編輯工具與管理機制測試												
4	建立地理圖資服務機制，提供STORM 連接使用												
5	STORM 地理圖資使用功能更新與測試												
6	期末報告討論與撰寫												

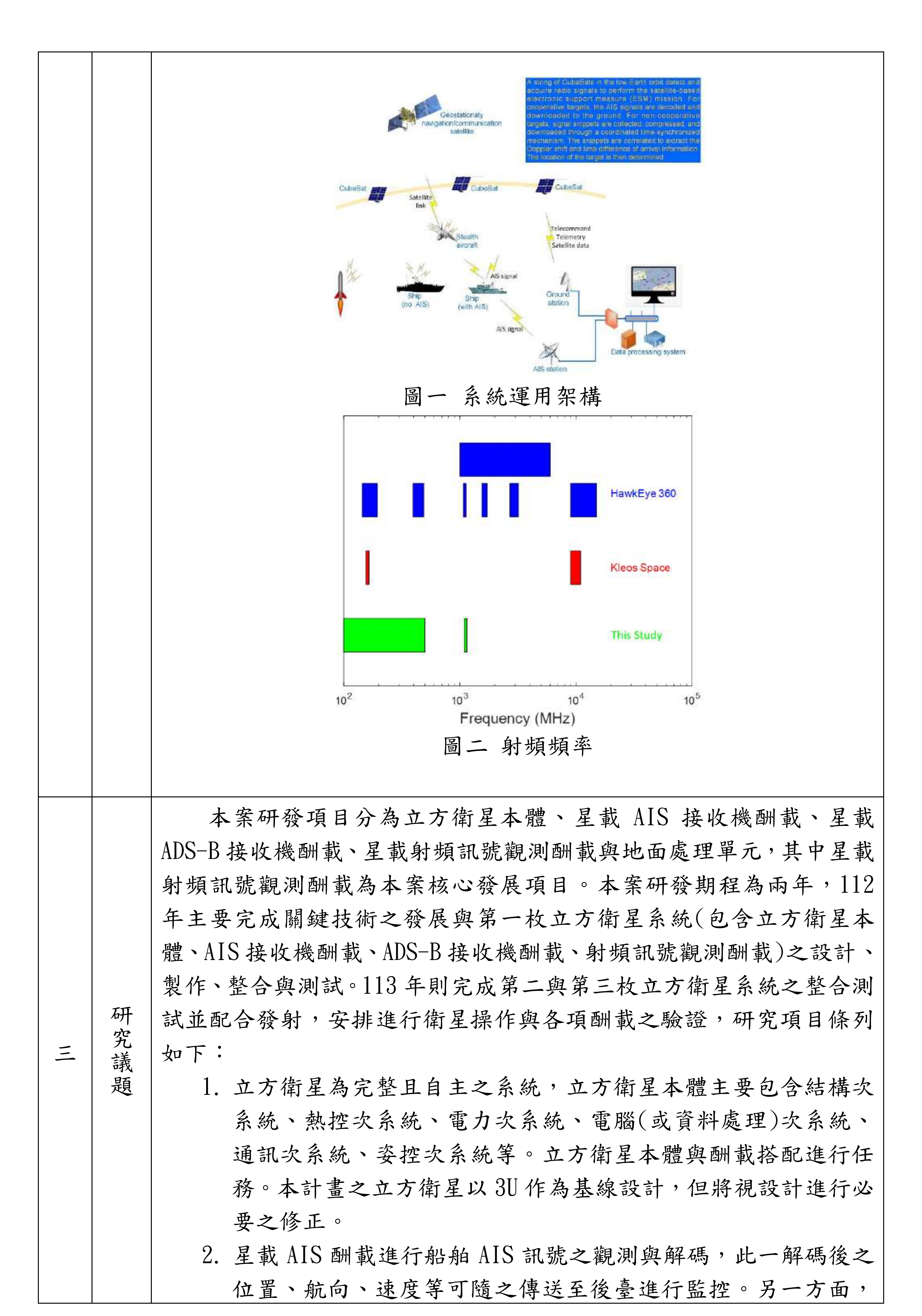
七	成本分析	填寫說明：請概算研究人力費、材料業務費、設備費、管理費等成本需求，並說明校方與提案單位執行項目（全部委託校方執行則免說明分工項目）。

補助項目 ＼ 執行年次	年度經費
業務費	
研究人力費(主持人、共同主持人費)	
研究人力費(兼任助理)	
耗材、物品及雜項費用	
研究設備費	
管理費	
合　　　　計	

八	預期成果	填寫說明：簡要說明本計畫成果完成後之效益。 1. 有效地形資料管理，提供更仿真的模擬所需要的地形參數。 2. 建立網路地圖服務機制，節約各系統獨立建置圖資成本。 3. 充分運用圖資蒐集管道與方式，增加可供軍運用圖資種類。 4. 與開發廠商要求 STORM 升級或改版項目。

國防部電訊發展室112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:「地球輻射觀察試驗立方衛星先導計畫」研究試製</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：通訊工程、航太工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">需求提案單位：國防部 電展室　　　　聯絡人：陳婉容　電話：02-2602-2741</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">本案「地球輻射觀察試驗立方衛星先導計畫」主要核心研製項目為具有觀察射頻訊號與定位能力之立方衛星，以發展關鍵技術提升整體技術備便水準。本案應用立方衛星主要為國內學界已初具此一能量，且立方衛星平臺具有較佳之擴充性。標準之立方衛星，泛指重量為一公斤左右且外型為長寬高各 10 公分立方體形狀之衛星，此一標準於2000年左右被提出後已廣泛為學術界、科研界與產業界採用，也因此已改變太空科技之生態。立方衛星雖小但仍具有衛星系統所需之結構、熱控、電力、電腦、通訊與姿控等次系統可搭配酬載於太空中運作。
射頻訊號觀測定位主要應用一群(三至四枚)立方衛星,於不同位置同步針對同一訊號源進行量測，以推算訊號源之位置。本案訊號源定位技術將可包含兩類型訊號，分別為白箱(white box)型式與黑箱(black box)型式。前者為合作(cooperative)形式之訊號，其頻率、調變、格式與內容已知，故可依循典型通訊接收機之設計進行訊號降頻、解調與解碼等步驟，並將資訊回送。後者則為非合作(non-cooperative)形式之訊號，其頻率與格式等未知或具不確定性，此一盲目訊號(blind signal)或無源之定位挑戰性更高。應用多個立方衛星將主要觀測輻射訊號，估測都卜勒頻移、訊號到達時間差等參數，並進一步應用模式解算出位置，此一過程可因此結合衛星與地面之功能完成系統之研究試製。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">全案目標為針對星載射頻訊號觀測與處理技術,進行關鍵技術之發展與驗證，進而建立星載觀測與定位之能量。本案應用情境之系統架構如圖一所說明，主要運用一群立方衛星於低軌道進行射頻訊號之觀測與定位,以利進行地球輻射觀測。應用衛星可不受空間與距離限制，測定遠方訊號源與活動。國際間雖有商用立方衛星如 HawkEye 360 與 Kleos space 提供相似服務，惟採用頻段不同無法直接運用。圖二為本案需求與國際現有系統觀測頻段之差異。本案自主發展關鍵之射頻訊號觀察酬載有利於後續之延伸、整合與客製應用。</td></tr>
</table>



圖一 系統運用架構

圖二 射頻頻率

三 研究議題

本案研發項目分為立方衛星本體、星載 AIS 接收機酬載、星載 ADS-B 接收機酬載、星載射頻訊號觀測酬載與地面處理單元，其中星載射頻訊號觀測酬載為本案核心發展項目。本案研發期程為兩年，112 年主要完成關鍵技術之發展與第一枚立方衛星系統(包含立方衛星本體、AIS 接收機酬載、ADS-B 接收機酬載、射頻訊號觀測酬載)之設計、製作、整合與測試。113 年則完成第二與第三枚立方衛星系統之整合測試並配合發射，安排進行衛星操作與各項酬載之驗證，研究項目條列如下：

1. 立方衛星為完整且自主之系統，立方衛星本體主要包含結構次系統、熱控次系統、電力次系統、電腦(或資料處理)次系統、通訊次系統、姿控次系統等。立方衛星本體與酬載搭配進行任務。本計畫之立方衛星以 3U 作為基線設計，但將視設計進行必要之修正。
2. 星載 AIS 酬載進行船舶 AIS 訊號之觀測與解碼，此一解碼後之位置、航向、速度等可隨之傳送至後臺進行監控。另一方面，

		星載 ADS-B 酬載，觀測與解碼 ADS-B 訊號，以利紀錄與回報飛機所廣播之位置。 3. 星載射頻訊號觀測酬載主要包含天線、射頻前級與訊號處理單元，可以依據協定觀測電波訊號並進行初步處理、紀錄與壓縮，更隨之應用立方衛星系統將所接收之訊號樣本傳送至地面。對於所擬觀測於 100-500MHz 之訊號，同步發展調幅與調頻訊號解調能力，並應用可調適應性濾波器以收錄窄頻訊號。 4. 地面處理系統可以接收來自立方衛星之訊號與資料，並進行處理。資料處理部分，主要應用訊號樣本關聯特性提取都卜勒頻移與到達時間差之參數，以進行地球輻射定位。進行三枚立方衛星搭載關鍵射頻訊號觀測與處理模組之整合測試與在軌實驗。為充分驗證立方衛星與射頻訊號觀測酬載之功能與性能，將研製、整合、發射與操作三枚立方衛星。
四	運用構想	本案運用構想可參考圖一，主要係運用一群立方衛星於低軌道進行射頻訊號之觀測與定位，以利地球輻射觀測與狀況掌握。 技術發展與研究試製完成後，未來運用場景可於星系佈署或將酬載搭載於我國其他衛星規劃，以滿足即時觀察與定位需求。 本研究試製計畫之主要構成為立方衛星本體、星載 AIS 接收機、星載 ADS-B 接收機、星載射頻訊號觀測酬載與地面處理系統，主要需求分述如下： 1. 期能將星載 AIS 及 ADS-B 訊號接收與處理做為合作形式訊號之驗證。 2. 期能以 100-500MHz 頻段之訊號接收與觀測做為非合作形式訊號驗證之標的，功能需求包含可接收、定位及觀測 100-500MHz V/UHF 頻段語音訊號，並具備 AM 及 FM 解調處理能力。 3. 期能收錄及定位頻寬 100-500MHz 頻段內頻寬 7-12KHz 訊號。 4. 期能將訊號檔回傳，建立與驗證具備 100-500MHz 全時監控能力。 5. 期能將衛星所收集之資料將以近即時方式回傳至地面，此一回傳至地面之時間，因衛星軌道與地面接收站位置將有差別，本案藉由接收驗證整體時間延遲，以利後續任務規劃。

五	技術備便水準評估	本研究針對立方衛星技術、星載 AIS 酬載與 ADS-B 酬載技術、星載射頻訊號觀測酬載技術衛星訊號無源定位技術等 4 項關鍵技術進行評估(詳如 TRL 附件)： 1. 針對立方衛星技術，國內已有團隊成功發射立方衛星並於真實環境(太空)運作兩年，惟本案酬載不同，須重新設計與測試(TRL4)未來將目標 TRL 設置為 5。 2. 星載 AIS 酬載與 ADS-B 酬載技術，已完成地面測試並有工程體於相關環境下確認(TRL4)，惟未於真實(太空)系統驗證，未來將目標 TRL 設置為 5,因訊號衰減與相互干擾之因應策略與訊號認證技術有待進一步研究。 3. 星載射頻訊號觀測酬載技術已具備軟體接收機設計與製作能力，現為概念研究或應用分析階段(TRL2)，關鍵技術與功能有待建立與實驗驗證，未來將目標 TRL 設置為 5，因訊號相當微弱，需發展適應性技術以抑制雜訊;另天線與同步機制需研發。 4. 衛星訊號無源定位技術，已有前期學理經驗，現為概念研究或應用分析階段(TRL2),未來將目標 TRL 設置為 4,因其實際訊號之特性有待充分之模擬與驗證。

六	期程工項	第一年(112 年)主要進行之工作項目為 1. 立方衛星設計製作整合與測試 1.1任務定義 1.2系統設計 1.3初步設計 1.4關鍵設計 1.5整合測試 2. 星載 AIS 接收機設計與測試 2.1天線與接收機設計 2.2處理軟體設計 2.3AIS 酬載製作與測試 3. 星載 ADS-B 接收機設計與測試 3.1天線與接收機設計 3.2處理軟體設計 3.3ADS-B 酬載製作與測試 4. 星載射頻訊號觀測酬載設計與測試 4.1系統功能規格定義 4.2天線與接收機設計 4.3同步取樣與資料壓縮及紀錄 4.4射頻訊號觀測酬載製作與測試 5. 地面資料處理中心規劃 5.1 地面系統規劃 5.2 觀測與定位軟體發展 6. 衛星發射準備 6.1發射合約協商。 6.2發射合約簽署。 第二年(113 年)主要進行之工作項目為 1. 立方衛星發射與操作 1.1衛星遞交 1.2衛星發射 1.3早期操作 1.4任務操作 2. AIS 酬載操作 2.1AIS 酬載在軌功能驗證 2.2AIS 資料處理與顯示 3. ADS-B 酬載操作 3.1ADS-B 酬載在軌功能驗證

		3.2ADS-B 資料處理與顯示 4. 射頻訊號觀測酬載操作 4.1射頻訊號觀測酬載在軌驗證 4.2射頻訊號觀測酬載操作 5. 地面資料處理與定位驗證 5.1地面站網路 5.2射頻訊號觀測與定位驗證 6. 衛星發射準備 6.1運交衛星 6.2衛星發射

七	成本分析	成本分析詳如附錄
八	預期成果	本研究試製建立與驗證關鍵之立方衛星、AIS(Automatic Identification System)與 ADS-B(Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)訊號接收、電波輻射觀測、無源定位與衛星/地面系統整合能力，有利於觀測、識別、定位、記錄和/或分析地球輻射訊號源，以提供預警與決策所需的資訊。

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現階段 TRL	研發後 TRL	TRL 評定理由	風險評估說明
1	立方衛星技術	TRL4	TRL5	國內已有團隊成功發射立方衛星並於真實環境（太空)運作歷兩年惟本案酬載不同仍有賴系統測試與驗證。	酬載不同，得重新設計與測試。
2	星載 AIS 酬載與 ADS-B 酬載技術	TRL4	TRL5	已完成地面測試並已有工程體於相關環境下確認，惟未於真實(太空)系統驗證。	訊號衰減與相互干擾之因應策略與訊號認證技術有待進一步研究。
3	星載射頻訊號觀測酬載技術	TRL2	TRL5	具軟體接收機之設計與製作能力,惟關鍵技術與功能有待建立與實驗驗證。	訊號相當微弱，需發展適應性技術以抑制雜訊。天線與同步機制需研發。
4	衛星訊號無源定位技術	TRL2	TRL4	訊號處理與定位方法有前期學理經驗,惟關鍵技術與功能有待建立與實驗驗證。	實際訊號之特性有待充分之模擬與驗證。

一、申請補助經費

補助項目 ＼ 執行年次	第一年	第二年	全程總經費
業務費			
研究人力費			
耗材、物品及雜項費用			
研究設備費			
管理費			
合　計			

第一年

研究人力費

研究人力費		
類別	金額	請敘明在本計畫內擔任之具體內容、性質、項目及範圍
主持人計畫主持費		計畫統籌管理、進度控管與執行子議題研究項目。
共同主持人計畫主持費		計畫執行子議題研究項目。
助理		
兼任助理(碩士生-學習範疇)		執行子議題研究項目
兼任助理(博士生-學習範疇)		執行各子題研究項目、整理發表研究成果
合計		

耗材、物品及雜項費用

項 目 名 稱	說明	單位	數量	單價	金額
消耗性器材	加裝於衛星工程與飛行體之飛行電腦	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星工程與飛行體之電力開發模組	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星本體之結構、熱控與加工	批	1		
消耗性器材	射頻訊號偵蒐酬載發展相關之耗材	批	1		
消耗性器材	AIS 酬載發展相關之耗材	批	1		
消耗性器材	ADS-B 酬載發展相關之耗材	批	1		
消耗性器材	加裝於衛星本體之姿態控制模組	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星本體之通訊傳輸模組	批	2		
消耗性器材	耗材電池、紙、文具、 光碟、投影機燈泡、印表機碳粉匣	批	1		
雜支	郵電、打字、印刷、裝訂、研究書籍費	批	10		
國內差旅費	供計畫人員差旅來回交通費用	次	6		
教育訓練費	供計畫人員參加國內研討會及培訓課程之報名費	次	10		
膳食費	計畫相關會議之餐費、飲品費	批	10		
消耗性器材	量測用線材、電源、電子元件、	批	1		

	微控制器開發板				
合計					

第二年

研究人力費

研究人力費		
類別	金額	請敘明在本計畫內擔任之具體內容、性質、項目及範圍
主持人計畫主持費		計畫統籌管理、進度控管與執行子議題研究項目。
共同主持人計畫主持費		計畫執行子議題研究項目。
專任助理		
兼任助理(碩士生-學習範疇)		
兼任助理(博士生-學習範疇)		
合計		

耗材、物品及雜項費用					
項 目 名 稱	說明	單位	數量	單價	金額
消耗性器材	加裝於衛星飛行體之飛行電腦	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星本體之電力開發模組	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星本體之結構、熱控與加工	批	1		
消耗性器材	射頻訊號偵蒐酬載發展相關之耗材	批	1		
消耗性器材	AIS 酬載發展相關之耗材	批	1		

消耗性器材	ADS-B 酬載發展相關之耗材	批	1		
消耗性器材	加裝於衛星本體之姿態控制模組	批	2		
消耗性器材	加裝於衛星本體之通訊傳輸模組	批	2		
消耗性器材	耗材電池、紙、文具、 光碟、投影機燈泡、印表機碳粉匣	批	1		
雜支	郵電、打字、印刷、裝訂、研究書籍費	批	10		
國內差旅費	供計畫人員差旅來回交通費用	次	6		
教育訓練費	供計畫人員參加國內研討會及培訓課程之報名費	次	5		
膳食費	計畫相關會議之餐費、飲品費	次	10		
消耗性器材	量測用線材、電源、電子元件、微控制器開發板	批	1		
合計					

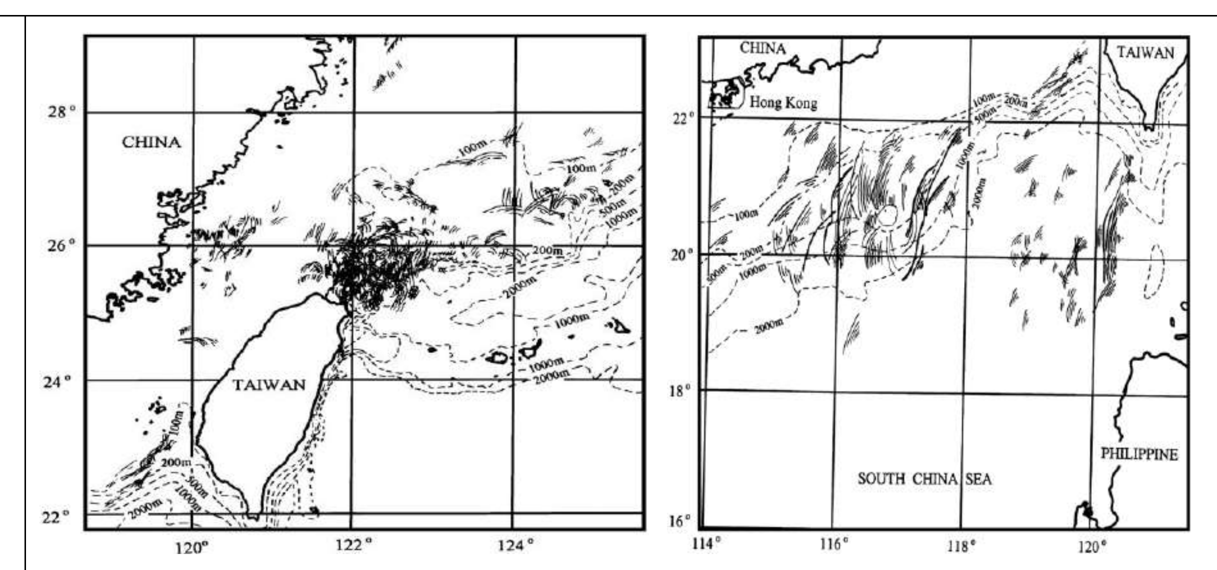
國防部海軍司令部 112 年度「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：臺灣周邊海域(西南海域與東北角海域)內波觀測分析與模擬預報（Observations, Analysis, Simulation and Prediction of Internal Waves in the Southwest and Northeast Seas of Taiwan）

需求單位：海軍二五六戰隊　　聯絡人：陳亮昀上尉

電話：（民）07-5813141#782450　　e-mail：

項次	項目	內　　容
一	計畫背景	中共潛艦 2014 年 4 月執行任務時，發生「掉深」航安事件，但是這專業潛艦術語相信很多人未有所聞，當然更不了解這些名詞的真正海洋物理意義何為？根據中共官方新聞(軍報)報導，中共潛艦在 2014 年 4 月在執行任務時發生「掉深」的地點是台灣西南海域東沙島附近；再者，大海裡單獨存在水平方面的「海水密度驟變」，是不太可能發生的。然而從物理海洋學觀點來看，造成潛艦掉深失重之原因為內波(internal waves)。 去年(2021)4 月印尼潛艦 KRINanggala-402 在 21 日演習期間，於龍目海峽（Lombok Strait）準備魚雷試射時失聯，之後發現潛艦沉沒於水深 838 公尺處，艦上 53 人全數罹難，且沉沒的潛艦斷成三部分，而強大之內孤立波（internal solitary wave）可能為主要禍首。 內波是一項重要的水平與垂直海水運動，它將海洋上層的熱能傳至深層，又把深層較冷的海水與營養鹽帶到表面水層。臺灣周邊海域東北部和西南部海域以都是巨型內波的多發區；因此，了解海洋內波及其發生機制，對海軍作戰有極大的幫助。 內波影響影響潛艦航行、反潛作戰及水下武器的使用是一極為重要的海洋水文環境因素。振幅劇烈的內波可將潛艦拋向水面或壓向海底，危及潛艦安全，就如同水面艦艇在波浪處航行一樣，當潛艦在海洋內波區域活動時，也會產生「中拱」、「中垂」現象，嚴重時會造成艦體斷裂，或者潛艦不易保持正常的航向和武器發射姿態，水下武器發射後也難以命中目標。內波亦會導致海水等密度面的波動，使水下聲波的音源強度大小和行進方向發生變化，對聲納裝備與水下武器的使用影響極大。
二	計畫目的	2008 年美軍研究單位與我國學術單位一同發現南海巨波，更證實臺灣周邊東北角和西南海域為世界知名之巨型內波好發區，同時也是我軍與中共海軍重要的接戰區，此區的內波發生，不僅嚴重影響潛艦水下航行安全，會使潛艦水下操控變得更佳複雜且困難，也會進一步影響海軍潛艦聲納與武器的使用。因此，深入的調查與模擬內波的發生與預報，有絕對的必要性。

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>


因此，本計畫規劃全面調查台灣周邊海域的內波發生情形，同時為我國海軍建立適合臺灣海軍作戰之三維內波數值模式，並透過實際聲波觀測、 分析與建立模式模擬，讓海軍可精確了解台灣東北角海域與西南海域預測臺灣周遭海域內波之發生機制與行為。
本計畫所採用數值模式(以 Splash3D 或是 sbPOM 為基礎，透過最多可達 128 種不同密度、不同鹽度、不同溫度之流體彼此之交互作用，發展適合臺灣海域之三維內波數值模式，並結合實際觀測之海水溫鹽度與流速，以精準掌握三維內波動力行為，包括內波位置、發生時間、發生週期、內波大小、影響範圍、溫鹽度分布等有軍事價值之科學數據。
</td>
</tr>
<tr>
<td>三</td>
<td>研究議題</td>
<td>本案分為 2 個子計畫，子計畫一為「內波觀測與分析」另一為「內波模擬與預測」各三年期計畫，分期計畫與研究議題如附圖所示，並說明如下：</td>
</tr>
</table>

計畫期程、研究議題與子計畫間相互關係

臺灣周邊海域內波觀測分析與模擬預報

期程：112年-114年

研究議題與技術

子計畫1：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析

第一年：分析海底地震儀水下聽音器觀測的內波資料

了解台灣內波活動產生的訊號特徵與參數

第二年：續分析聽音器資料，輔以海洋溫鹽與衛星資料

利用溫鹽和衛星等相關資料與實際觀測資料比對、分析與驗證

第三年：彙整、比對相關資料，繪製內波生成機制資訊圖

分析近年台灣東北與西南海域內波活動之場址與規模，並與【子計畫一】模式結果進行比對、驗證

子計畫2：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報

第一年：建立實驗室尺度的內波數值模式(Splash3D或sbPOM)

依【子計畫一】分析內波所得特性，建立以Splash3D或sbPOM為內波動力模擬之主幹，發展適用於台灣海域之內波模擬模式

第二年：建立台灣周邊海域真實地形的內波數值模式

真實地形中模擬內波的發生，並文獻資料比對

第三年：內波模式使用真實的台灣周邊水文環境資料(溫、鹽、水流)，模擬內波的發生，並建立作業化內波數值模型

引入【子計畫一】的觀測水溫、鹽度與流場做為初始場，模擬真實內波的生成並預報

特徵與參數資料提供

內波發生機制驗證

水文資料提供模式運行

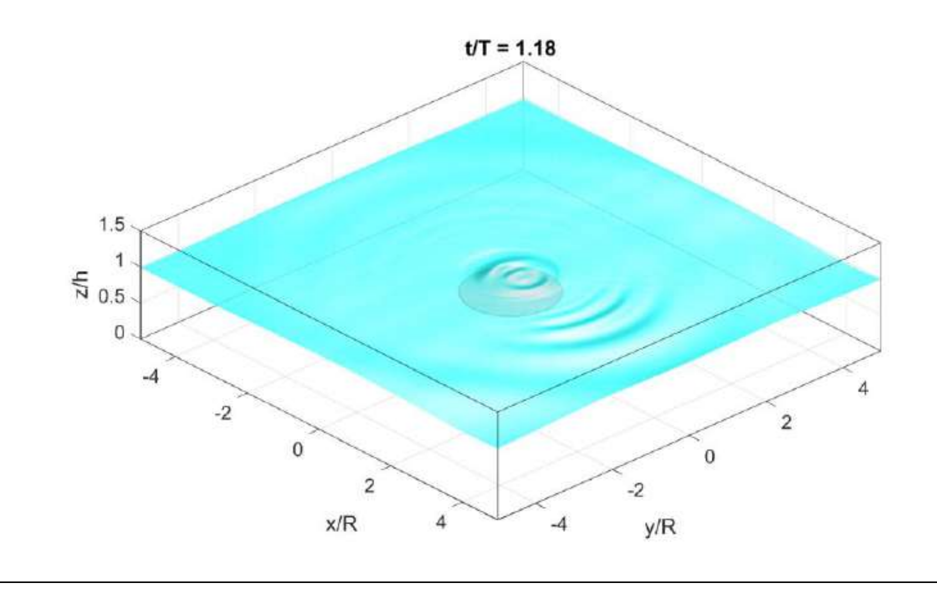
子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析

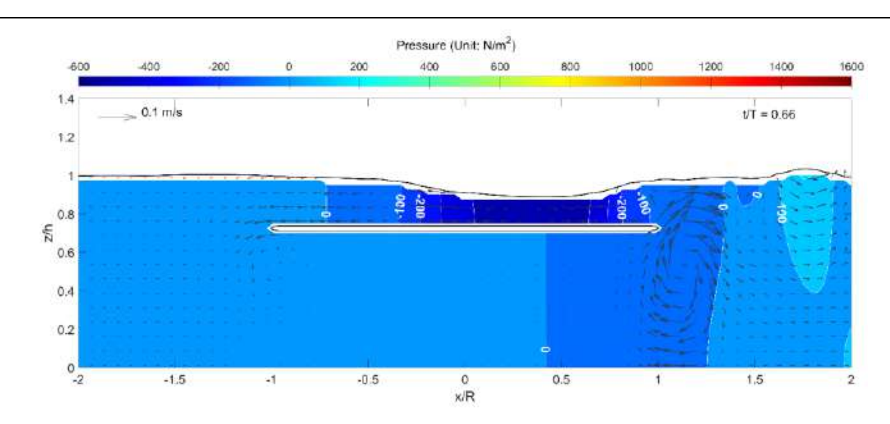
1. 分析歷年佈放於西南及東北海域之海底地震儀陣列，藉由水聽計壓力變化與時頻分析以辨別紀錄中可能的內波訊號，並輔以衛星影像資料與溫鹽資料等水文資料進行比對驗證。所獲資料資料提供【子計畫二】參考與使用。
2. 藉由相互比較觀測資料，並與【子計畫二】內波模式模擬的資料料，探討研究區域內的潮汐、海流、溫度、鹽度與水深等各項參數對於內波的生成機制、傳遞與尺度，所可能造成的潛艦的影響。
3. 整合所有相關資料，繪製近年東北與西南海域內波生成之區域、傳遞方向與規模大小之資訊圖，以作為建立相關資料庫之參考依據，提供潛艦部隊使用。

子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報

1. 依【子計畫一】初步資料分析結果，建立適用於台灣邊海域之三維內波數值模型(實驗室等級)，以 Splash3D 或 sbPOM 為內波動力模擬之主幹，以所預報或量測之洋流流速及溫鹽度分布為邊界條件，發展適用於台灣海域之內波模擬模式。
2. 直接導入臺灣周邊海域真實海底地形，並進行三維內波數值模式預報，並與【子計畫一】所蒐集水聽計壓力變化與時頻分析以辨別紀錄中可能的內波訊號，進行比較與驗證。
3. 建立台灣海域內波資料庫預報系統(真實海底地形與水文資料)，並以作業化運作為目標，以因應作戰時期快速即時之內波預報。

四	運用構想	子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析 1. 巨型內波可能將潛艦迅速拖向深海(潛艦掉深)，危及艦艇安全，同時亦會影響聲納裝備與水下武器之使用。因此掌握臺灣周圍海域內波活動特性及影響區域，能有效提升潛艦的航行安全與裝備的使用，有極大的幫助。 2. 海洋內波的強度和行為模式與季節變化相關，藉由海底地震儀長期觀測之結果，能提供臺灣周圍海域特定時間及地點之內波資訊，以利艦艇各項演訓任務的執行。 3. 除可利用海底地震儀針對作戰熱區進行長期監控，相關技術建立亦可運用於氣象局海底電纜所收集之資料，未來透過即時地震和壓力資料收集，或許可運用於內波預警工作。 4. 分析資料，提供作戰部隊作為航行台灣周邊海域的基本資料。 子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報 1. 結合美國LANL國家實驗室所發發展延伸之Slash3D水動力模式或發展成熟之洋流模式sbPOM，建立適用於臺灣海域之三維內波數值模式。 2. 將觀測之洋流流速與海水溫鹽度參數以邊界條件導入模式，進行三維內波數值模擬，以掌握臺灣海域之內波動力機制，並預測內波行。 3. 建立台灣邊海域內波數值預報系統，並將預報系統移轉至海軍(大氣海洋局與潛戰隊)，透過實施教育訓練，協助使用單位建立獨立操作模式之能量。
五	技術備便水準評估	子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析 目前我國海軍已了解內波的原理及其對水下作戰可能造成的影響，因此技術備便水準為TRL1。 現階段我軍對於內波在台灣周圍海域發生的強度、行為模式，及是否和季節變化相關等問題由於觀測資料不足，導致無法有效掌握其特性。本研究將透過分析海底地震儀資料以了解周圍海域之內波特型與時空分布及分析，進而作為海軍潛艦安全之保障。並將實際觀測資料導入內波模式，以提高預報之準確性，其技術備便水準便可提升至TRL4。 子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報 本研究案主要針對臺灣四週海域，建立適合臺灣海軍作戰之三維內波數值模式模式，目前透過觀測了解內波的形成原理及造成對潛艦危安的因素，其技術備便水準為TRL2。 本案將以該數值模式為基礎，結合實際觀測之海水溫鹽度與流速，以精準掌握三維內波動力行為，包括內波位置、發生時間、發生週期、

		內波大小、影響範圍、溫鹽度分布等有軍事價值之科學數據。最後，建置三維內波數值模式模式，並加以驗證後；提供海軍使用。 目前，現階段海軍已經可以觀測到內波的現象並了解其對潛艦安全的重要性，其技術備便水準為 TRL1，由本研究案執行完成後即可透過模式預測未來內波行為確保潛艦航行安全。其技術備便水準可提升至 TRL4。
六	期程工項	子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析 第一年：彙整歷年佈放於西南及東北海域之海底地震儀陣列之資料，透過分析水聽計壓力變化與時頻分析辨別資料中可能由內波產生的訊號。所獲的內波特性資料，提供【子計畫二】使用，以建立 Splash3D 或 sbPOM 為內波動力模擬之主幹，發展適用於台灣海域之內波模擬模式。 第二年：延續第一年之工作，持續分析海底地震儀資料，並輔以溫鹽資料與衛星影像資料，以驗證內波活動。同時將觀測資料作為【子計畫二】內波預報模式開發之依據，以利掌握臺灣周圍海域之實際情況。 第三年：整合所有相關資料，繪製近年東北與西南海域內波生成、傳遞方向與規模大小之資訊圖，並將此分析結果統整轉移至我國海軍相關部門。 子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報 第一年：依據【子計畫一】所提供的內波特性資料，測試並選擇建立 Splash3D 或 sbPOM 為內波動力模擬之主幹，發展適用於台灣海域之內波模擬模式，並將海水依密度、鹽度、溫度進行分層。並依文獻中內波之實驗數據進行實驗室尺度模式驗證。 



圖：Splash3D 進行三維長浪消能模擬時，出現類似內波之水面波紋與水下巨型漩渦。

第二年：計畫直接進行臺灣海域之真實海底地形之內波模擬。將導入臺灣周圍海域三維數值地於 Splash3D 模式中，以情境洋流為邊界條件，進行真實地形之情境內波模擬，並與【子計畫一】分析資料與文獻資料，進行臺灣海域真實尺度之內波模式模擬與驗證。

第三年：計畫將真實尺度之內波模式，導入【子計畫一】所觀測之實際海水溫鹽度與流速，以進行戰場環境之三維內波分析、驗證、與預測。經過系統性之分析，本三維內波數值模式結果可為戰場環境提供警戒值或內波資訊資料庫做為內波預測之用。後續將進行內波預報系統之技術移轉，讓海軍可獨立操作臺灣海域之三維內波預報系統，以利精確掌握內波之實際狀況。

七 成本分析

本案成本需求包含研究人力費(於業務費項下，包含主持人、共同主持人、兼任助理、專任助理，以及所有人員聘用需雇主負擔之保險費)、業務費(耗材、雜支等)、研究設備費、管理費(以不含主持費、共同主持費之 10%計算)，各項費用成本分析表列如下。

子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析

金額單位：新臺幣元

執行年次 補助項目	第一年	第二年	第三年	年度經費
業務費				
研究人力費(主持人、共同主持人費)				
專任研究人員				
耗材、物品及雜項費用				
差旅費				
研究設備費				
管理費				

合　　　　　　計				

*業務費及研究設備費得因實際研究需求相互流用。

子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報

金額單位：新臺幣元

執行年次 / 補助項目	第一年	第二年	第三年	年度經費
業務費				
研究人力費(主持人、共同主持人費)				
研究人力費(博士生、碩士生兼任助理 2~3 名)				
研究人力費(碩士級專任助理 1~2 名)				
耗材、物品及雜項費用				
差旅費				
研究設備費				
管理費				
合　　　　　　計				

*業務費及研究設備費得因實際研究需求相互流用。

八　預期成果

子計畫一：臺灣東北與西南海域內波觀測與分析

1. 透過海底地震儀長期的觀測資料，了解臺灣東北與西南海域內波的時空分布，並建立海底地震儀觀測內波之技術。
2. 將實際觀測資料導入【子計畫二】內波數值模式，進一步完善台灣海域內波預測。
3. 將分析結果與技術轉移至海軍大氣海洋局，以作為海軍未來作戰與航行安全之參考依據。
4. 關鍵績效指標：

（1）完成使用海底地震儀分析內波活動之技術。

（2）建立臺灣海域內波活動之時空分布圖，與基本內波特性分析。

子計畫二：臺灣東北與西南海域內波模擬與預報

1. 以美國國家實驗室之數值模式為基礎，發展適合臺灣海域內波模擬與預測之模式。
2. 本計畫案所建立之三維內波數值模式，可精確模擬臺灣東北與西南周邊海域之內波行為，並提供內波發生機制、週期、大小、流速等重要水文參數。
3. 結合【子計畫一】所獲得觀測之海水溫鹽度與流速，本三維內波

		數值模式可進行戰場環境之內波模擬，並建立內波預報系統。 4. 進行內波預報系統之技術移轉，建立海軍獨立操作模式之能量。

國防部海軍司令部112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：臺灣周邊海域水下作戰層次深度特性分析與預報機制建立研究</td><td>計畫期程：112-114年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：導向性基礎研究</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：海軍大氣海洋局　　　　聯絡人：上尉預報長黃珊培
電話：(07)5813141#784165</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">隨著潛艦國造持續推展，水下作戰環境資訊之需求將快速增加，特別是層次深度資訊之掌握，可協助反潛作戰之執行，更能做為潛艦水下作戰所需航行路線規劃與匿蹤之重要環境訊息。水下偵測主要靠聲納，聲音在水下傳播路徑受到溫度、鹽度垂直分布之影響，近年來全球暖化快速增強，造成海水明顯增溫與降雨型態變化，改變各海域溫度、鹽度垂直分布特性，包括台灣週邊海域之水下環境，因此需要分析最新觀測資料，了解層次深度之變化特性。
在艦隊所航行之寬闊海域，缺乏常設性水下觀測設施，僅能靠船艦依其航程進行隨艦觀測，但涵蓋之空間、時間範圍都相當有限，無法滿足水下作戰整體資訊之需求。因應方式為使用海洋數值模式提供預報資訊，雖然預報資訊可充分涵蓋空間與時間範圍之需求，但模式預報存有誤差，因此需要對模式之預報結果進行分析，了解其對水下環境層次深度之預報能力，再配合誤差修正，方能提供優質水下環境預報資訊。運用溫度、鹽度計算層次深度之方法有諸多版本，因各地區海洋特性不同而有所差異，適用於台灣周邊海域水下環境與模式預報之層次深度計算方式，需要加以確認檢核。
在潛艦國造積極推展與全球暖化背景之下，因應未來水下作戰環境資訊之顯著需求，因此需要針對台灣周邊海域之水下環境層次深度進行更新了解，建置適宜預報系統，提供優質水下作戰環境預報資訊，提升有關水下監偵及武器運用等整體水下作戰執行效能。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">未來潛艦國造完成後，潛艦勤務增加將延伸出水下作戰環境資訊需求之明顯增加，因應此發展趨勢，需對台灣周邊海域水下作戰層次深度之觀測與預報特性進行分析，藉以掌握提供水下作戰環境資訊之適宜方式。本計畫主要目的為建置一套分析與預報台灣周邊海域水下作戰層次深度之作業方式，配合海軍大氣海洋局預報作業使用，協助掌握與更新台灣周邊海域水下作戰層次深度之變化特性，診斷分析數值模式對層次深度之預報能力與特性，進行誤差修正，提供優質預報資訊，協助反潛與水下作戰任務。
在觀測特性分析方面，將運用台灣周邊海域過去10年之水下觀測資料，解析溫度、鹽度垂直分布隨季節、海域之變化情形，藉以了解伴隨全球暖化發展所導致之變化趨勢。再以最近幾年平均狀態來更新台灣周邊海域之水下環境特性。運用溫度、鹽度、深度計算溫度、聲</td></tr>
</table>

		速之垂直分布，分析判斷層次深度(layer depth)和音層深度(sonic layer depth)，建置台灣周邊海域水下作戰環境資訊資料庫。 在預報特性分析方面，分析大氣海洋局模式預報之溫度、鹽度垂直分布特性，計算層次深度與音層深度，再與觀測結果比較，藉以了解模式對水下作戰環境之預報特性與預報能力。依其誤差特性，建置誤差修正系統，修正預報資訊，提供水下作戰環境之適宜預報資訊。
三	研究議題	本三年期計畫，各年度計畫研究議題如下： 1. 第一年(112 年)計畫係使用科技部海洋學門資料庫與 ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography）全球海洋觀測網之觀測 CTD (Conductivity、Temperature、Depth)資料，對應海軍氣海象之五大預報區域，收集北部海域(119-128E, 25-28N)、東部海域(121-128E, 22-25N)、巴士海峽(116-128E, 18-22N)、台灣海峽北部(118-121E, 24-25N)、台灣海峽南部(116-121E, 22-24N)，包括近海與遠洋之所有 CTD 資料，藉此分析台灣周邊海域水下環境，診斷台灣周邊海域不同月份之溫度、鹽度垂直剖面，計算對應之層次深度與音層深度，分析過去 10 年水下環境之變化趨勢與最近數年變化狀態，依此建立並更新台灣周邊海域水下作戰環境於各海域之逐月、逐季的分布特徵，並供做後續海洋數值模式預報之校驗基準。 2. 第二年(113 年)計畫將依照上述五大預報區域，分析海軍大氣海洋局過去數年之海洋模式預報結果，分析模式預報溫度、鹽度、聲速之垂直分布，再與觀測分析結果比對，檢驗模式預報水下環境資訊之準確情形，及準確度隨不同預報時程之變化情形，統整對水下環境資訊具有適宜預報能力之海域、季節、預報時程，歸納大氣海洋局海洋模式對水下作戰環境之預報能力以及預報資訊之適宜使用方式。 3. 第三年(114 年)計畫係對水下作戰環境之預報誤差進行修正，以溫度、鹽度之垂直分布狀態為分析對象，以統計方法建立預報結果與觀測資料之映射方程式，對預報誤差進行修正。修正後之溫度、鹽度再計算層次深度與音層深度，比較誤差修正前後，水下作戰環境預報資訊之改善成效，藉此建置水下作戰環境資訊之預報誤差修正系統，提升海洋數值模式之應用範圍與預報效能。
四	運用構想	1. 建立依觀測與預報之溫度、鹽度、深度資料計算層次深度、音層深度之經驗方程式，提供海軍作業使用。並依計算結果，歸納台灣周邊各海域層次深度、音層深度隨月份、季節變異之分布特性，建置台灣周邊各海域反潛與水下作戰所需水下環境資訊資料庫。 2. 建立水下環境資訊之預報誤差修正系統，彙整預報誤差隨海域、季節、預報時程之對應狀態為資料庫，提供海軍實際預報作業使用。 3. 藉由成果技術移轉與教育訓練，提升海軍對台灣周邊各海域水下作戰環境資訊之分析與預報能量。

<table>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>本計畫為導向性基礎研究，技術備便水準屬於第五級(TRL5: 組件/模組能在相關環境下確認)，亦即運用過去長期CDT觀察資料研究而得之經驗方程式，藉以計算層次深度，再將此經驗方程式的模組套用於大氣海洋局海洋模式之預報作業，計算模式預報之層次深度，後續再將預報之層次深度與對應時間 CTD 觀測資料所計算之結果互為比較驗證，確認本計畫所發展之計算模組對現行模式預報環境之適用程度。再搭配誤差修正系統，運用觀測資料計算模組所推算之層次深度，分析修正前後之預報結果，藉以確認誤差修正系統對層次深度預報能力之改善情形，提升預報效能與使用績效。本計畫所發展之計算模組將在實際預報作業環境中進行確認。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>各年預計執行之工作事項如下：
1. 第一年(112 年)
● 收集2007年迄今之科技部海洋學門資料庫與ARGO資料庫於台灣周邊五大海域之觀測CTD資料。
● 運用CTD資料計算溫度、鹽度垂直分布，再運用Coppens方程式計算聲速垂直分布，診斷各筆資料溫度、音速垂直分布轉折點所示之層次深度與音層深度。
● 將台灣周邊之北部海域、東部海域、巴士海峽、台灣海峽北部、台灣海峽南部等五海域，分別計算各海域 1-12 月逐月與逐季(11-2 月為冬季、3-5 月為春季、6-8 月為夏季、9-10 月為秋季)之層次深度與音層深度的平均值與最大-最小值變異範圍，建置各海域隨月份與季節變化之層次深度與音層深度觀測資料庫。
● 比較最近數年與 10 年前層次深度與音層深度之變化狀態，診斷全球暖化之影響概況，並運用最近數年觀測結果更新與建置各海域之逐月、逐季層次深度與音層深度之分布特性。
2. 第二年(113 年)
● 收集海軍大氣海洋局過去數年之海洋數值模式對水下鹽度、溫度之預報結果，計算台灣周邊海域各網格點之層次深度與音層深度。
● 依上述模式預報分析結果，繪製台灣周邊海域 1-12 月逐月與逐季層次深度與音層深度之分佈圖，並依北部海域、東部海域、巴士海峽、台灣海峽北部、台灣海峽南部等五海域，分區與對應CTD觀測資料分析結果比對，檢核海洋模式對台灣周邊海域層次深度與音層深度之模擬能力。
● 分析模式1-5天預報之層次深度與音層深度結果，與對應時間之觀測結果比對，計算相關係數與均分根誤差，評估海洋模式對台灣周邊各海域層次深度與音層深度之預報能力。</td></tr>
</table>

- 彙整海洋模式對水下環境層次深度與音層深度具有適宜預報能力之海域、月份與季節、預報時程，歸納大氣海洋局海洋預報模式對水下作戰環境之適宜使用方式。

3. 第三年(114 年)
- 取對應觀測層次深度地點、時間之模式預報層次深度，逐月或逐季進行散佈圖分析，計算觀測資料與預報結果之映射方程式，建置逐月與逐季層次深度之誤差修正系統。再依上述做法，建置各月、各季音層深度之誤差修正系統。
- 將上述層次深度與音層深度誤差修正系統，對北部海域、東部海域、巴士海峽、台灣海峽北部、台灣海峽南部等五海域分別建立，再依不同預報時程(1-5 天)逐次建置，因應各月不同預報結果之修正。
- 應用此誤差修正系統對預報結果進行校正，比較修正前後之平均深度、相關係數、均方根誤差，藉以評估誤差修正系統對不同海域、不同月份季節、不同預報時程之改善績效。
- 依誤差修正績效，診斷各海域預報誤差修正後層次深度、音層深度之準確性與適用性，藉此建置水下作戰環境資訊之預報誤差修正系統，提升海洋數值模式之預報效能。

以上工項全部委託校方執行。

七 成本分析

於 112-114 年之 3 年期程，每年經費，概算如下:

一、申請補助經費：　　　　金額單位：新臺幣元

補助項目 ＼ 執行年次	第一年 (112年)	第二年 (113年)	第三年 (114年)	全程總經費
業務費(a+b+c)				
a. 研究人力費				
b. 耗材、物品及雜項費用				
c. 差旅費				
研究設備費				
管理費				
合計				

八	預期成果	本計畫成果完成後之效益如下: 1. 建立台灣周邊海域水下作戰層次深度之長期觀測資料庫，並提供給大氣海洋局，更新並進一步掌握台灣周邊五大海域隨月份與季節之層次深度變化特性，作為反潛作戰與潛艇巡弋勤務之水下環境資訊，協助戰情判斷與勤務規劃。 2. 建置台灣周邊海域水下作戰層次深度之計算方法，將技術移轉到海軍大氣海洋局，供作海洋模式預報場之計算使用，協助海軍大氣海洋局建置層次深度之預報能力，經由例行預報，提供台灣週邊五大海域任一指定空間之層次深度預報資訊，提供水下作戰環境資訊，作為戰力部屬、軍演訓練之參考資訊。 3. 建立海洋模式預報結果之驗證方法與預報誤差修正系統，並將技術移轉給海軍大氣海洋局，改進預報結果之準確性，提昇海軍對台灣周邊海域水下作戰環境之預報能量。驗證方法與預報誤差修正系統之執行方式與技術觀念，可應用於大氣海洋局相關大氣與波浪模式之驗證與誤差修正，協助提升整體預報作業之效能。 4. 本計畫所發展之技術將配合大氣海洋局之預報，建置於預報作業之後處理程序，例行提供誤差修正後層次深度預報資訊，供各種戰情需求使用，提升大氣海洋局對水下環境之掌握能力與預報效能。本計畫以海軍目前預報作業所分之五大海域進行分析，但未來可依反潛作戰之實際需求，新增或調整各海域之分析範圍，以符合實際作戰需要。 5. 關鍵績效指標： ● 完成台灣周邊各海域觀測資料層次深度、音層深度之計算與繪圖，建置與更新台灣周邊各海域逐月、逐季層次深度之分布圖，供海軍大氣海洋局依此建立層次深度觀測資料庫，提供反潛作戰與潛艦勤務依空間(各海域)、時間(季節、月份)而定之水下環境戰情資訊，作為未來應變各式戰情需要之參考資訊與根據。 ● 完成海洋模式預報層次深度、音層深度之分析程序與運用觀測資料檢驗預報層次深度之驗證程序，以量化方式建立大氣海洋局海洋模式對台灣周邊各海域層次深度之預報能力，以及預報層次深度隨預報時間、季節、海域之變化特性，確認海洋模式對層次深度相關預報之適宜使用方式。 ● 完成海洋模式預報層次深度、音層深度之誤差修正系統，建立預報誤差之確認程序與運用觀測資料修正預報誤差之經驗方程式，執行預報誤差系統後，檢驗各海域於修正前後之預報準確度，由預報準確性之改善情形，以量化方式建置預報誤差系統於不同海域、不同預報時間、不同季節之實質改善功效，依此掌握海洋模式層次深度預報之實際應用效能。

		● 完成層次深度觀測分析、預報分析、預報誤差修正等計算系統之技術移轉到海軍大氣海洋局，為海洋模式執行人員提供研發成果之相關教育訓練，強化海洋預報作業實務之理論基礎與研發技巧。並將相關計算系統結合預報作業，建立自動化程序，於例行預報作業能及時獲得層次深度之預報結果，擴大海洋模式預報結果之應用價值與實質預報效能，助益海軍對水下作戰環境資訊之掌握能力。 ● 技術移轉後，將協助海軍大氣海洋局逐年收集海洋學門資料庫與 ARGO 資料庫之最新 CTD 觀測資料，海軍大氣海洋局將結合艦艇觀測資料，並運用上述資料對近年預報結果進行預報能力與誤差修正成效檢驗，提升海軍大氣海洋局海洋模式之實質預報能力。

國防部海軍司令部 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：東亞地區短波通訊戰場環境監測與模擬(1/3~3/3)</td><td>計畫期程：112-114 年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：大氣海洋科學</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：海軍通信系統指揮部　聯絡人：陳柏翔中尉　電話：02-25337235</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">近年隨著中國大陸國際實力的提升，加上美國重返亞太的再平衡政策，以及日本、韓國、越南和菲律賓國內壓力升高，東海、南海諸島及周圍海域相關國家活動頻繁。活動中短波(高頻)無線電波通信是衛星通信之外「遠距通信」經常使用及經濟有效之通訊方式，然而國軍各單位對於東亞地區高頻無線電波（天波、地波）通信方式、通信品質與效益、頻率使用管理以及相關通訊環境參數，仍欠缺經常性且有效評估的監控操作平台；在中美雙方「軟體支援協助案」中，美方亦建議本軍對於高頻無線通信各項環境參數及頻率管理加強認知與利用，並對高頻無線電波通信干擾源分析並加以定位。故高頻無線電波通信監控操作平台建置，能提升高頻無線電波通信效益與頻率管理，對本軍於東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域遠距通信任務極具重要性。
機敏資訊方面，研究計畫所得電離層氣象與動態式電離層觀測儀原始資料無機密性，過去國家通訊傳播委員會（NCC）亦經常性公佈台灣上空電離層氣象圖與資料。然而，研究計畫所得短波無線電波環境監測結果可為國防短波通訊頻率選擇、使用與管理，應列為機敏資訊，應限制使用者。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">1. 提供本軍東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域高頻短波通信戰場環境即時參數資料。結合建置之「遠端操作系統」，本軍使用者可迅速獲得高頻短波通信所需傳播媒介電離層資料，掌握天、地波通信有利因素。預期可即時提供本軍高頻無線電通信運用所需各項參數建議，以精進本軍高頻短波通信運用作為。
2. 結合學界資源與基礎，分析無線電波干擾信號與定位干擾源，克服高頻通信易受干擾限制，避開點頻與掃頻干擾，作為未來高頻通信跳頻技術運用的資料庫，以達「先求通、再求穩、後求強」的運用策略，研究成果對本軍建軍備戰極具前瞻性。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">填寫說明：條列式說明研究或研發項目。
1. 東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域短波通信戰場環境監測與即時高頻頻譜管理分析：結合學界資源與基礎，掌握東亞地區之中高頻環境無線電波頻帶、日夜電場強度、季節與地區分布等，以建置我軍短波通訊資料庫基礎，作為本軍東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域高頻通信頻率管理之重要依據。</td></tr>
</table>

		2.整合地面高頻雷達觀測網、福衛三號與七號、與全球定位衛星資訊地面接收站所得電離層觀測資料，建立即時全球電離層模式，確實掌握天波傳播媒介狀況，提高國軍天波通訊通達率。 3.我軍短波通訊干擾信號分析與干擾源定位。 4.擴充系統於高頻無線電波地波傳播觀測，研究與建置無線電波地波傳播大氣波導管模式。 5.操作平台整合系統研究：運用視覺化模擬系統，將各階段研究計畫操作平台與電離層資料庫成果整合後，建置遠端獨立操作系統與視覺化模擬系統，以滿足國軍使用者需求。
四	運用構想	1. 結合學界資源與基礎，整合地面高頻雷達觀測網、福衛三號與七號、與全球定位衛星資訊地面接收站所得電離層觀測資料，建立一完整「東亞地區短波通訊戰場環境監測系統網」，並採用全時間的觀測模式來監測所有中高頻無線電波訊號在短波通訊環境的分佈情況，適合作長時間且經常性的背景噪音監測，俾滿足「頻率管理」、「有效通訊」、「干擾分析」、與「干擾定位」所需。 2. 本計畫成果能給予國軍各單位對於東亞地區高頻無線電波（天波、地波）通信方式、通信品質與效益、頻率使用管理以及相關通訊環境參數，提供經常性且有效評估的監控操作平台，期望能提升高頻無線電波通信效益與頻率管理，對本軍於東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域遠距通信任務極具重要性。 3. 建議能給予國軍相關單位定期舉辦”高頻無線電波通信與頻率管理”訓練課程。

五	技術備便水準評估	1. 東亞地區短波雷達電離層天氣聯合觀測網，可增加觀測資料的地域性，包含東海、南海諸島及周圍海域，並建立一套完整之頻率管理資料庫，可廣泛於國軍高頻頻段通信運用，並取代現行人工分區長時側聽之作業方式，可有效節約人力，更可以科學方法精準分析頻率。 2. 因應本軍艦艇航行範圍遍及台灣週邊海域，並應特殊任務需求甚有可能駛抵南海及東太平洋等海域，故目標範圍合乎本軍需求。 3. 本研究計畫以台灣花蓮站與屏東龍泉站動態式電離層觀測儀為主，結合日本 NICT 四部、韓國 KSWC 兩部與菲律賓一部動態式電離層觀測儀形成一東亞地區電離層觀測網，九部動態式電離層觀測儀位置包含 Wakkanai/Sarobetsu (45.16 ° N , 141.75 ° E)，Kokubunji (35.71° N , 139.49° E)，Yamagawa (31.20° N , 130.62° E)，Okinawa/Ogimi (26.68° N , 128.15° E)，Geosan (36.77° N , 127.82° E)，Jeju (33.50° N , 126.53° E)，花蓮(23.89° N , 121.55° E)，龍泉(22.67° N , 120.60° E)，及 Malina(14.61° N , 120.96° E) ，故可針對東太平洋及南海等海域上空短波無線電波環境精準監測。其中除屏東龍泉站動態式電離層觀測儀待修外，其餘正常操作，所以「東亞地區短波通訊戰場環境監測系統網」可行性高，計畫執行將定期提供東亞地區電離層觀測網觀測資料與圖庫以供驗證。 4. 本案續配合本軍敦睦專案任務等時機，驗證短波無線電波環境監測與頻率選用效益。 5. 至少每 15 分鐘一次東亞地區主動式電離層觀測，完成電離圖分析與電離層參數自動判讀，決定全天候二十四小時高頻無線電波垂直通訊最高可用頻率(MUF)、最低可用頻率(LUF) 與最佳可用頻率。 6. 至少完成每 15 分鐘一次中高頻全頻域(數千頻率)無線電波環境監測，全天候二十四小時連續監測短波背景訊號，亦可獲得各個頻率的時間對電波強度與時間對電波方位角與仰角資料，用以分析與監測高頻無線電波通信效益或是該頻率遭受周圍環境無線電波干擾狀況。應用中高頻全頻域無線電波環境監測，能提供國軍短波通訊頻率建議，強化有效短波通訊。 7. 分析短波通訊干擾信號與定位干擾源，克服短波通訊易受干擾限制，避開點頻與頻段干擾。 8. 東亞地區短波通訊戰場環境監測與模擬遠端操作平台可透過網路服務，可以隨使用者的需求，於已知時間、無線電波發射站位置、無線電波頻率、電波發射方位角與仰角、與發射半能量角度，提供三維無線電波傳播預測。同時遠端視覺化與最佳化模擬平台建置，可整合地面高頻雷達觀測網、福衛三號與七號、與全球定位衛星資訊地面接收站所得電離層觀測資料庫平台，以供應短波通訊戰時環境需求。

<table>
<tr>
<td>六</td>
<td>期程
工項</td>
<td>第 1 年(112 年)研究規劃
● 結合學界資源與基礎，建立一完整「東亞地區短波通訊戰場環境監測系統網」，掌握東亞地區，包含東海、南海諸島及周圍海域之中高頻環境無線電波頻帶、日夜電場強度、季節與地區分布等，以建置我軍短波通訊資料庫基礎，可廣泛於國軍高頻頻段通信運用，亦可有效節約人力，更可以科學方法精準分析頻率。
● 整合地面高頻雷達觀測網、福衛三號與七號、與全球定位衛星資訊地面接收站所得電離層觀測資料，建立即時全球自主電離層模式，提供本軍使用者之「遠端監測與操作系統」，結合戰場環境即時參數資料，確實掌握天波傳播媒介狀況，提高國軍天波通訊通達率。

第 2 年(113 年)研究規劃
● 提升本軍高頻無線電波通信效益：利用研究案建置之全球自主電離層模式，提供本軍高頻電波最佳及最大通訊頻率的即時預報，同時建立中高頻無線電波於電離層的傳播路徑預估，提升無線電波通訊效益。
● 促進本軍高頻無線電波通信頻率管理：利用研究案建置之「高頻頻帶背景資料庫」，建置頻率管理平台，建議高頻通訊頻帶，淘汰海軍通信系統不良通訊頻率，亦可作為未來高頻通信跳頻技術運用。
● 操作平台整合系統建置：運用視覺化模擬系統，將各階段研究計畫操作平台與電離層資料庫成果整合後，建置遠端獨立操作系統與視覺化模擬系統，以滿足國軍使用者需求。

第 3 年(114 年)研究規劃
● 結合學界資源與基礎，分析短波通訊無線電波干擾信號分析與干擾源定位，克服高頻通信易受干擾限制，避開點頻與掃頻干擾，以達「先求通、再求穩、後求強」的運用策略，研究成果對本軍建軍備戰極具前瞻性。
● 擴充系統於高頻無線電波地波傳播觀測，研究與建置無線電波地波傳播大氣波導管模式。</td>
</tr>
<tr>
<td>七</td>
<td>成本
分析</td>
<td>分年經費規劃：
成本分析如下:
一、申請補助經費
<table>
<tr><td>執行年次
補助項目</td><td>第一年
Y</td><td>第二年
Y+1</td><td>第三年
Y+2</td><td>全程總經費</td></tr>
<tr><td>業務費
(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a.研究人力費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b.材料、耗材及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c.差旅費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table><tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期
成果</td><td>(1)提升本軍高頻無線電波通信效益：利用研究案建置之自主全球電離層模式，提供本軍高頻電波最佳及最大通訊頻率的即時預報，同時建立中高頻無線電波於電離層的傳播路徑預估，提升無線電波通訊效益。
(2)促進本軍高頻無線電波通信頻率管理：利用研究案建置之戰場環境即時參數資料，建置頻率管理平台，建議高頻通訊頻帶，淘汰海軍通信系統不良通訊頻率。
(3)本計畫成果能給予國軍各單位未來短波無線電波（天波、地波）通信跳頻機，對於頻率選擇、使用與管理，以及相關通訊環境參數、通信途徑、通信品質與效益，提供經常性且有效評估的監控操作平台。
(4)將持續蒐集短波通訊環境參數，運用大數據分析技術最佳通信頻率預測模型，用以提供本軍頻率選用精準度，提升通信效能。</td></tr>
</table>

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1					
2					
3					
4					
5					

註：突破式國防科技研究計畫(全期計畫金額達 1,000 萬元以上者)請填註本表，並依本部「國防科技發展教則」評估本案技術能量。

國防部海軍司令部 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：高孔隙泡沫金屬運用於軍艦結構抗衝擊及降噪性能之研究</td><td>計畫期程：
112—113 年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：海軍造船發展中心　聯絡人：周頤屏　　電話：07-5825640</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">「國艦國造」是政府及海軍建軍規畫的重要施政方針，建造一艘戰場高生存力艦艇是當前重要課題，尤其因應現代化戰爭需要，對艦船所用材料要求不斷提高，因此，開發一種具備高強度及抗彈降噪功能之新型高孔隙泡沫金屬材料，搭配運用於軍艦重要結構部位，將可提升軍艦在嚴苛作戰環境的存活能力，如：彈片防護、抗彈及聲訊跡匿蹤等，圖 1 即為美方應用多孔隙金屬材料於艦艇甲板結構之示意圖，顯示多孔隙金屬材料應用於艦艇結構為未來主要趨勢之一。

圖 1.美方艦艇結構應用多孔隙金屬於甲板結構之示意圖

多孔隙金屬材料是一種新型的防護工程材料,除具有優良的吸收能量、降低碰撞與降躁的特性外，更具備輕量化的效益，其獨特的結構特征已被視為提升國防各類載具及結構物抗彈與降躁防護性能的重要應用材料之一。目前多孔隙金屬材料運用於航空、車輛領域較多，而運用於船艦領域卻相對較少，為了開發多孔隙金屬材料技術，可運用於後續國艦國造新造艦上，本計畫將依據艦艇結構設計所需之抗彈及噪音防護之需求，擬製備出不同孔隙率之泡沫金屬，可達到船體減重輕量化、抗彈及降噪等功效，並於未來可運用於國艦國造設計及建造實務工作上，以發揮艦艇於戰場最佳生存力。</td></tr>
</table>

二	計畫目的	本研究目標在開發一種具備抗彈及降噪功能之新型高孔隙泡沫金屬材料，建置發展適用於鋁材或鋼材之艦船結構。開發過程除了必要的材料科學及金屬冶金相關知識，更要深入瞭解艦船結構設計的重要考量，包含：抗彈與降噪之法規要求及海洋環境等因素，同時廣泛收集國外學者或廠家之類似研究，進行比對驗證，另利用聲學阻抗管量測多孔隙金屬材料之聲波吸音係數、反射係數及傳輸損失等參數，以尋求最佳降躁效益，並藉由壓縮力學及動態霍普金森力學測試探討多孔隙泡沫金屬之壓縮力學性質，以分析瞭解艦船可承受之負載狀況及可承受動態衝擊之吸能指數。 接續執行抗彈試驗,此階段會探討多孔隙金屬可吸收子彈衝擊動能之效益外，並應用類神經網路建構多孔隙金屬吸聲降噪代理模型，透過智能演算法找出最佳組合(孔隙率、孔徑大小及厚度)，以期建構出最適化多孔隙金屬船艦結構之穩健設計，並使船艦達到輕量化、抗彈及降躁的效果。所發展的新型多孔隙泡沫金屬材料將可提供海軍運用於國艦國造實務工作上以大幅提升新造艦戰場生存力。
三	研究議題	本研究 112-113 研究議題摘要如下： 1. 112 年： (1) 研究發泡劑對多孔隙泡沫金屬的影響,藉由添加不同比例的發泡劑製備出不同孔隙率之泡沫金屬,分析發泡劑比例對孔隙率與壓縮性能的影響，進而實現對泡沫金屬孔隙率的控制。 (2) 藉由壓縮力學測試探討多孔隙泡沫金屬壓縮力學性質,瞭解艦船可承受之負載狀況。 (3) 以動態霍普金森力學測試,分析多孔隙泡沫金屬應用於船艦後受動態衝擊之動態力學吸能指數。 (4) 利用聲學阻抗管量測聲波之吸音係數、反射係數、傳輸損失,探討聲波傳播與多孔隙材質交互作用之聲學特性，以了解多孔隙泡沫金屬對於隔音及吸音等聲學上的運用。 (5) 利用實驗設計法分析孔隙率、孔徑、材質、孔隙形式、厚度等因子對船艦聲波阻抗及動態力學吸能指數之效果。 2. 113 年：

		(1) 依據美國司法協會 NIJ 0108.01 規範所律定之標準，完成抗彈試驗之多孔隙金屬試片製備，以實際進行抗彈測試，探討多孔隙金屬材料吸收子彈衝擊動能之效益。 (2) 113 年應用類神經網路建構多孔隙金屬抗彈暨吸聲降噪代理模型，並透過智能演算法求最佳因子組合，以達產品的穩健設計並使多孔隙泡沫金屬除了具有吸收子彈衝擊動能，也能同時達到隔音及吸音的效果。
四	運用構想	1. 本研究計畫產出一種可有效輕量化艦船結構、抗彈防護及降噪之多孔隙泡沫金屬，導入國艦國造執行過程中，除可有效減重、提升結構強度，並可發揮抗彈防護與降噪隱匿之能力，大幅提升戰場生存率。 2. 可作為老舊船隻結構強化性能提升使用，進而增加作戰存活力。 3. 相關技術可技轉為商業用途，可應用於商船或海事工程以促進艦艇輕量化、強化船艦防護能力。
五	技術備便水準評估	本研究 112 年將發展出研製最佳比例的發泡劑製備出不同孔隙率之泡沫金屬，可針對本研究分析發泡劑比例對孔隙率與壓縮性能的影響，進而實現對泡沫金屬孔隙率的控制，同時可分析不同孔隙率及孔徑結構對船艦聲波阻抗之效果。技術備便水準可從已分析及實驗關鍵功能和/或概念的定性證明階段(TRL2)，到概念驗證與應用規劃階段(TRL3)。 113 年針對不同孔徑、孔隙率、材質等不同參數之多孔隙金屬材料進行抗彈性能測試與吸聲降噪指數之量測，探討吸收子彈衝擊動能之效益及對船艦聲波阻抗之效果，以完成具備可抗衝擊及降噪性能之艦艇結構材料開發，並建構最適化多孔隙金屬船艦結構之設計，研究過程中應可依序完成概念驗證與應用規劃階段(TRL3)及實驗室環境驗證組件之階段(TRL4)。。 研究成果將運用於「國艦國造」設計及建造實務工作上，提供後續新造艦在設計階段之選用規劃及建造階段安裝運用，並持續累積使用經驗，逐步優化多孔隙泡沫金屬製備功能，最後希冀可達到 TRL5 之目標。

六　期程工項

本研究 112-113 年執行重點與期程摘要如下：

<table>
<tr><th colspan="12">112年</th></tr>
<tr><td>1月</td><td>2月</td><td>3月</td><td>4月</td><td>5月</td><td>6月</td><td>7月</td><td>8月</td><td>9月</td><td>10月</td><td>11月</td><td>12月</td></tr>
<tr><td colspan="4">文獻探討與蒐集</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4">硬體建置、實驗設計不同的參數組合</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">依不同參數組合進行泡沫金屬製備</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">壓縮力學測試阻抗管量測吸音係數、反射係數、傳輸損失</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">動態霍普金森力學測試</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">重要參數分析</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>第一年成果報告</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="12">113年</th></tr>
<tr><td>1月</td><td>2月</td><td>3月</td><td>4月</td><td>5月</td><td>6月</td><td>7月</td><td>8月</td><td>9月</td><td>10月</td><td>11月</td><td>12月</td></tr>
<tr><td colspan="4">製作抗彈多孔隙金屬試片</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="5">抗彈力學性質測試</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="5">阻抗管量測吸音係數、反射係數</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">建構多孔隙金屬抗彈暨吸聲降噪代理模型</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">第二年成果報告</td></tr>
</table>

在測試驗證方法上概述如下：

1. 112 年：製備出不同孔隙率之泡沫金屬，分析發泡劑比例對孔隙率與壓縮性能的影響，並進行壓縮力學測試及動態霍普金森力學測試外，並利用聲學阻抗管量測聲波之吸音係數、反射係數、傳輸損失，探討聲波傳播與多孔隙材質交互作用之聲學特性。
2. 113 年：製作抗彈多孔隙金屬試片進行抗彈力學試驗，並藉由類神經網路建構多孔隙金屬抗彈暨吸聲降噪代理模型，建構最適化多孔隙金屬船艦結構。

七　成本分析

申請補助經費規劃：

執行年次 補助項目	第一年 (112年)	第二年 (113年)	全程總經費
(1) 業務費(a+b+c)			
a. 研究人力費			
b. 材料 、耗材及雜項費用			
c. 差旅費			
(2)研究設備費			
(3)管理費			
合計(1)+(2)+(3)			

八	預期成果	1. 開發適用於艦船之新型高孔隙泡沫金屬材料，具備輕量化、抗彈防護及降噪功能，導入國艦國造執行過程中，可提升我國軍艦戰場生存力，希冀與現行的船艦結構材質相比，最適化多孔隙金屬船艦結構，能有效增加吸音係數達 25%，傳輸損失增加 20%，並能達 NIJ 四級抗彈防護結構且能有減重效益達 30%以上。 2. 以多孔隙泡沫金屬為研究主軸，並與船艦實務相結合，充分發揮應用研究價值。研究成果搭配國際期刊之發表，提升在國際上的學術能見度。 3. 研究成果亦可作為新造艦船體重要部位材質選用之重要參考依據，同時可帶動國產材料精進方向及國內技術提升。 4. 相關製備技術亦可運用於民生，應用於商船與海事相關之工程結構，符合國防學術研究案發展宗旨。

國防部海軍司令部112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：艦艇磁訊跡模擬分析研究</td><td>計畫期程：
112—113年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：
電機工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：海軍造船發展中心　聯絡人：胡卓瀚　　電話：07-5884859</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">政府推動的五大創新，包含了國防產業，國艦國造也是其中重要政策之一，期望以公務船舶需求帶動國內船舶產業脈動，促進內需及產業發展，厚實國防自主研發。
軍艦面對嚴苛作戰環境時的存活能力包含彈片防護、電磁脈衝(EMP)防護、核生化防護、抗爆震防護、紅外線訊跡匿蹤、雷達訊跡匿蹤、聲訊跡匿蹤及磁訊跡匿蹤等。前述四大類訊跡的處理，要面對的是與敵作戰時矛與盾之間的利害關係，在設計建造過程想方設法去降低、抑制各類訊跡值，期望作戰時降低敵方偵測器能偵測到我方的機率，或縮短敵方偵測器能偵測到我方的距離，進而增加我方反應與攻擊時間。
本研究要處理的是艦船磁訊跡範疇，所要面對的威脅是敵方磁訊跡偵測器，尤其是具磁感應引爆能力之水雷。然而艦船在航行任務中一定會產生兩大類與磁有關之訊跡，在本艦自身部分主要是金屬與裝備因切割地球磁力線感應地磁而產生的感應磁場，以及電氣設備運作時的電流造成在船體逐漸累積的磁場；另一類則是艦船航行中使原本均勻分布的地球磁場因船體鋼材特性造成地球磁力線局部變異，造成區域地磁場的擾動。作戰軍艦想要降低磁感應水雷威脅，一定要做好磁訊跡控管，常用的方式有在設計建造時盡量選用低磁甚至無磁的材料與裝備，並依據完工出廠時整體艦船磁場特徵以艦上設置之強制電流消磁系統，將本艦綜合磁場抑制到最小。在港泊靠時則運用測磁及消整磁站，調整消除服勤過程所累積的磁場變化，回到最初磁場特徵，讓消磁系統能發揮原設計效益。
海軍國艦國造專案中，只要是較大型的作戰艦艇一定會規畫設置消磁系統，但因為艦艇磁訊跡處理技術相對敏感，目前仍在累積實務經驗中，因此消磁系統設計與規劃現階段仍仰賴國外技術支援。本計畫將深入分解船艦磁場並進行分析，進而用數值模擬方式發展出一個適用於船艦的磁訊跡模擬模型，導入國艦國造設計建造實務工作，讓設計者在設計階段就能初步掌握磁場大小與場型，以及關鍵影響因素與技術，提供後續在建造階段消磁系統之規劃、選用及安裝參考，以發揮消磁系統最大效益。</td></tr>
</table>

二	計畫目的	為了有效控制艦艇自身磁訊跡，高階作戰軍艦皆會安裝消磁系統，提高戰場存活力，如近年國造之磐石軍艦及玉山軍艦皆配備消磁系統)。因艦艇磁訊跡為機敏資料，因此磁訊跡分析及消磁系統設計各國皆列為前瞻及高機敏性技術，海軍現有技術資料與分析設計能量不足，目前以國外採購方式執行，急需逐步建立此方面分析技術。 本研究計畫目的是以數值模擬方法建立一個可用的磁訊跡模擬分析模型，能準確解析並產出全艦磁場訊跡，建立軍艦磁訊跡模擬分析技術能量。預期可達成效益如下： 1. 短中期，此技術建立後可交給海軍運用到新造艦設計及建造過程，在設計階段即能初步掌握艦艇磁訊跡特徵，進而規劃消磁系統基本功能需求，後續向國外廠商採購時，能更精準要求廠商提供最佳之消磁系統並依需求進行測試驗收，確保造艦品質並提高艦艇戰場磁對抗能力。 2. 長期而言，期藉逐步建立磁訊跡分析能量過程，最後能完備本軍消磁系統設計能力，達國防自主最終目標。
三	研究議題	本研究 112-113 研究議題摘要如下： 1.112 年： (1)艦船磁場分析，包含磁料性質、磁化特點、磁場分解、分布規律與場型及計算分解等。 (2)探討艦船磁場測量方法,瞭解在艦船周遭磁訊跡被感知到的強度與狀況。 (3)以數值模擬方法，開發船艦磁訊跡模擬分析模型。 (4)與國外學者試驗結果進行驗證比對,確認模擬分析模型初步能力。 2.113 年： (1)以海發中心選定之比對艦艇,將相關基本參數與資訊導入模型中，產出模擬預估結果。 (2)將模擬結果與國外廠商所提供之技術資料，進行比對驗證。 (3)進行分析模型優化工作，達到精準模擬分析磁訊跡之能力。 (4)將模擬分析模型運用於設計建造實務工作。 (5)併本研究蒐整磁訊跡特徵相對應管理或抑制實務做法,交給海軍於軍艦設計建造階段參考運用。 3.機敏資料管控議題： (1)112 年，選定非海軍艦艇建立模擬分析技術，無機敏性。 (2)113 年，因需運用到既有艦艇之船型線圖及磁訊跡分析資料，具機敏性。此階段執行時將要求相關參與研究人員簽屬保密切結，成立機敏作業辦公室(具人員及資料進出管控機制與獨立網域)，進行相關研究作業。

<table>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>1. 本研究產出一個準確且適用於艦船之磁訊跡模擬分析模型，導入國艦國造執行過程中，能讓設計者在設計階段就能初步掌握磁場大小與場型，以及關鍵影響因素與技術，提供後續在建造階段消磁系統之規劃、選用及安裝參考，以發揮消磁系統最大效益。
2. 期藉逐步建立磁訊跡分析能量過程，最後能完備本軍消磁系統設計能力，達國防自主最終目標。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>本研究 112 年將發展出一個船艦磁訊跡模擬模型，可針對本研究要處理的問題進行模擬與分析，技術備便水準可從概念驗證與應用規劃階段(TRL3)，進展到功能性模型建立階段(TRL5)。
113 年藉由模擬結果與國外廠商技術資料交叉比對，完成模擬分析模型優化，達到可實際運用於設計建造實務工作之能力，提供消磁系統之規劃、選用及安裝參考，過程中應可依序完成模擬分析模型功能驗證(TRL6)及模擬分析模型功能展示(TRL7)等階段。
長期而言，期藉逐步建立磁訊跡分析能量過程，最後能完備本軍消磁系統設計能力，達國防自主最終目標。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>本研究 112-113 年執行重點與期程摘要如下：
<table>
<tr><td colspan="12">112年</td></tr>
<tr><td>1月</td><td>2月</td><td>3月</td><td>4月</td><td>5月</td><td>6月</td><td>7月</td><td>8月</td><td>9月</td><td>10月</td><td>11月</td><td>12月</td></tr>
<tr><td colspan="2">文獻探討與蒐整</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">軟硬體採購建置</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="3">艦船磁場分析</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">模擬分析模型建立</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>期中報告</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">模擬分析功能驗證</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">國際期刊發表</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">期末報告</td></tr>
<tr><td colspan="12">113年</td></tr>
<tr><td>1月</td><td>2月</td><td>3月</td><td>4月</td><td>5月</td><td>6月</td><td>7月</td><td>8月</td><td>9月</td><td>10月</td><td>11月</td><td>12月</td></tr>
<tr><td colspan="2">選定艦艇資料研析</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">執行選定艦艇模擬分析</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">與技術資料比對分析</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>期中報告</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3">模型優化與定版</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">導入設計實務流程</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">磁訊跡抑制實務蒐整</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">期末報告</td></tr>
</table>
測試驗證方法概述如下：
1.112 年：模擬分析結果與國外學者曾執行之試驗結果進行比對驗證，確認研究結果可用性。
2.113 年：對海發中心選定之艦艇，執行磁訊跡模擬分析，將模擬結果與實際技術數據交叉比對，針對誤差找出原因並逐步調整模型參數達最終收斂，完成模擬分析模型優化。</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>七</td>
<td>成本
分析</td>
<td>本研究112及113年度成本概算如下：
金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><th>年度
項目</th><th>112年</th><th>113年</th><th>全程總經費</th></tr>
<tr><td>業務費(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a.研究人力費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b.耗材、物品及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c.差旅費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>八</td>
<td>預期
成果</td>
<td>1. 本研究產出一個準確且適用於艦船之磁訊跡模擬分析模型，導入國艦國造執行過程中，能讓設計者在設計階段就能初步掌握磁場大小與場型，以及關鍵影響因素與技術，提供後續在建造階段消磁系統之規劃、選用及安裝參考，以發揮消磁系統最大效益。
2. 期藉逐步建立磁訊跡分析能量過程，最後能完備本軍消磁系統設計能力，達國防自主最終目標。
3. 提升我國軍艦磁訊跡管理能力，增加戰場磁對抗能力。
4. 以艦船磁訊跡模擬為研究主軸，並與實務相結合，充分發揮應用研究價值。研究成果搭配國際期刊之發表，提升在國際上的學術能見度。
5. 研究成果亦可作為船艦裝備選用之評估依據，帶動國產裝備精進方向及國內技術提升。
6. 相關技術亦有機會轉換為民用，應用於解決與磁場或消磁有關之工程問題，符合國防學術研究案發展宗旨。</td>
</tr>
</table>

國防部海軍司令部112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：5083鋁合金船段高溫變形阻抗性能與破壞模擬分析研究 (1/2)</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：材料工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">需求單位：海軍造船發展中心　　聯絡人：周頤屏 電話：(07) 582-5640</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">鋁鎂合金以5052與5083為主要代表材料，而5083鋁合金各方面性質又優於5052鋁合金，因此裝甲車的防彈板是選用5083鋁合金，至於船艦的主體結構，包括船殼，龍骨，框架，皆是採用5083海洋級船艦用鋁合金。優異抗腐蝕性能是5083鋁合金的亮點，特別是耐海水腐蝕，所以5083鋁合金除廣泛應用於海濱工程之外，包含汽車、飛機扣件、捷運輕軌，高鐵車廂地板，甚至是需嚴格防火等級的壓力桶槽與容器（如: 液體輸送罐車、冷藏冷凍車、冷藏冷凍貨櫃等）、製冷設備與裝置、高端液化空氣用瓶身..等，均是5083鋁合金應用載具。
5083鋁合金具有多項優點，包括陽極皮膜品質佳，具有優良切削性，3軸熱膨脹均勻性最佳，因此除了海洋輕質工程之外，電熱工程也是應用非常廣泛 (如: 面板廠的電熱腔體或連續熱處理爐架與隔板)，但因為5083鋁合金基地中含有約5wt.%Mg，因此受應力腐蝕困擾，特別是使用4043或5356鋁合金銲條再經焊接後的焊道容易爆裂，同理可以確認: 5083鋁合金板在不同冷加工條件下(彎折或沖壓)，鋁板的應力腐蝕行為不僅存在，而且在後續也會出現嚴重劣化情況。
考量5083鋁板可應用在軍事船舶製造之甲板，發動機台座，船側，船底外板等部位，特別是水下部份，不論是鋁板厚度與軋延退火製程參數 (材料組織晶粒徑大小，殘留應力等) 都會左右各部件的耐受性與可靠度。若在船艦遭受武器攻擊情況下，5083鋁板之抗爆性 (高速撞擊破壞)與耐燃性(火藥燃燒或耐高溫性) 等重要技術課題都極需要有系統性進行探討與釐清，得以建立5083鋁板的抗爆破暨耐高溫技術資料，並藉助電腦數值方法整合實務與模擬分析成果，從而提供設計與建議改善方案，不僅可落實國艦自主，更能加速軍工產業升級。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計劃書「5083鋁合金船段高溫變形阻抗性能與破壞模擬分析研究」預計將以本軍現役鋁合金艦艇為目標，首先藉由高溫軟化實驗方式建立，逐步取得實驗模型，評估5083鋁合金板於高溫狀態下之反應，從中取得鋁合金於高溫狀態下之關鍵參數，進而確認5083鋁合金板於高溫狀態下之動態反應後，再以現役鋁合金艦艇為目標，建立5083鋁合金船段(戰情室、機艙)高溫狀態下之數值模擬變形阻抗行為，進而作為後續本軍鋁質艦艇結構模擬設計及損害管制之重要參考依據。
本案主要研究目的有兩項:
1. 建立國產或進口5083鋁板高溫軟化系統與機械強度弱化機理，並釐清相關高溫組織演化特性 。
2. 建立高溫高速變形阻抗(高溫衝擊試驗)，完成5083鋁合金船段(戰情</td></tr>
</table>

		室與機艙)於高溫衝擊破壞機制，彙整高溫數據取得數值模擬關鍵參數，從而確立高溫模擬破壞模型，完成5083鋁合金船段(戰情室、機艙)於高溫衝擊韌性量測與破壞模擬分析。
三	研究議題	1. 第一年 (112年)：板材高溫高速+數值分析 1-1 應用高溫軟化系統進行國產與進口5083鋁板**耐熱性比較**。 1-2 探討5083鋁板高溫軟化前後系統之**機械強度弱化機理**(含應變率效應)。 1-3 釐清動態高溫變形行為與應變時效之**顯微組織特性**(溫度與時間)。 1-4 建立5083鋁板**高溫組織演化模擬數據**(合金元素分佈與晶粒特性)。 1-5 建立動態高溫高速**衝擊變形行為**臨界條件(溫度與時間)。 1-6 建立5083鋁板**高溫衝擊韌性**與**破壞模式**。 1-7 完成5083鋁板**高溫衝擊**與**破壞數值模擬分析**。 1-8 以5083鋁板高溫衝擊變形試驗數據**驗證**數值模擬分析結果。 2. 第二年 (113年)：銲道高溫高速+數值分析 2-1 建立5083鋁板**銲道組織**與**強度性質** (選用銲條: 4043與5356)。 2-2 建立5083鋁板**銲接區域**高溫下**組織演化特性**。 2-3 完成**垂直銲道**與**平行銲道**方向的**高溫高速破壞機制**。 2-4 確認高溫數值模擬參數並完成**高溫模擬破壞模型**。 2-5 驗證5083鋁板銲道**高溫變形行為**與**模擬成果**。 2-6 以5083鋁板銲道高溫衝擊變形試驗數據**驗證**數值模擬分析結果。 2-7 完成5083**鋁合金船段**於**高溫衝擊**與**破壞模擬分析**。 2-8 整合二年研究成果，建構完整5083鋁板應用技術資料。
四	運用構想	本構想書「5083鋁合金船段高溫變形阻抗性能與破壞模擬分析研究」之成果運用規劃為： 「近程運用」 ● 評估國內廠商自製能力與技術分量。 ● 建立標準金屬材料高溫軟化、疲勞、衝擊韌性及撞擊破壞等實驗程序。 ● 建立5083鋁合金材料高溫狀態下分析方式與數值模擬關鍵參數，得以作為本軍後續鋁合金艦艇損害管制設計參考依據。 「中程運用」

- 使鋁合金材料可更廣泛應用於本軍高速艦艇。
- 提高鋁合金艦艇使用上之可靠度。
- 提高軍品試研製修、資源釋放及轉換軍民通用科技等機制。
- 擴大民間產學界參與國防科技產業。

「遠程運用」

- 關鍵參數資料庫可作為軍方科研能量，亦可轉換為民生技術之基礎，進而帶動產、學、研三方合作意願，積極開發國防先進科技。
- 建立研發成果收益回流機制，再次投入國防科技研發。

五 技術備便水準評估

第一年: 板材高溫高速+數值分析

技術項目	現今之 TRL		計畫完成時之 TRL	
高溫強度系統: 調查環境因子之溫度與時間臨界值	1	目前無資料	2	完成高溫條件下組織演化報告
5083 鋁板高溫暨高速破壞機制	1	資料鮮少	2	完成高溫高速破壞機械性質分析報告
5083 鋁板高溫數值模擬破壞模式	1	目前無資料	3	完成數值模擬分析報告與收集高溫材料參數

第二年: 銲道高溫高速+數值分析

技術項目	現今之 TRL		計畫完成時之 TRL	
5083 鋁板超銲道組織特性暨高溫演化機制	1	資料鮮少	2	完成高溫下銲道顯微組織演化分析報告
5083 鋁板高溫高速破壞耐受度: 銲道方向性 (垂直銲道與平行銲道方向)。	1	目前無資料	2	完成銲道織構之高溫高速破壞機制報告
5083 鋁合金船段於高溫衝擊機制與破壞數值模擬分析行為建立。	1	目前無資料	3	完成銲道高溫變形數值模擬分析報告

六 期程

本構想書為「整合型」，時程「兩年期」，期程工項如下表：

第一年：5083鋁合金船段高溫變形阻抗性能與破壞模擬分析研究 (I)

工項

1	調查5083鋁板之溫度臨界值與耐熱崩潰條件
2	建立高溫軟化變形機制
3	完成5083鋁板高溫衝擊材料變形破壞特性與機制
4	完成5083鋁板高溫變形破壞數值模擬分析數據

第二年：5083鋁合金船段高溫變形阻抗性能與破壞模擬分析研究 (II)	
1	藉由銲接實驗，建立銲道顯微組織特性。
2	完成銲道系統之高溫組織演化機制。
3	完成銲道系統高溫高速材料變形破壞行為。
4	建立5083鋁合金船段高溫破壞數值模擬分析

七　成本分析

申請補助經費規劃：

執行年次 補助項目	第一年 (112 年)	第二年 (113 年)	全程總經費
(1) 業務費 (a+b+c)			
a. 研究人力費			
b. 材料、耗材及雜項費用			
c. 差旅費			
(2)研究設備費			
(3)管理費			
合計(1)+(2)+(3)			

八　預

本計畫之目的在於建立一套鋁合金艦艇高溫狀態下遭受衝擊負荷之評估與驗證方式，研究成果預期運用於先期研發階段，模擬鋁合金高速艦艇

	期成果	遭遇攻艦飛彈攻擊時之結構損害情況，進而檢討艦艇內部機要艙間配置合理性，提升艦艇損害管制能力，強化自主分析能力及國內軍工研發能量。 本計畫預期成果如列： 1. 第一年 (112年)： 1-1 完成5083鋁板高溫軟化前後系統之機械強度弱化機理。 1-2 完成動態高溫變形行為與應變時效之顯微組織特性(溫度與時間)。 1-3 完成動態高溫、高速衝擊下，5083鋁板耐受溫度與時間臨界值(崩潰條件) 1-4 完成5083鋁板高溫高速衝擊試驗與破壞機制。 1-5 完成5083鋁板高溫衝擊與破壞數值模擬分析 1-6 以5083鋁板高溫衝擊變形試驗數據驗證數值模擬分析結果。 2. 第二年 (113年)： 2-1 完成5083鋁板銲道組織與強度性質分析。 2-2 完成5083鋁板銲接區域高溫下組織演化特性評估。 2-3 完成5083鋁板銲接區域高溫、高速衝擊下之破壞行為評估 (銲道方向性)。 2-4 以5083鋁板銲道高溫衝擊變形試驗數據驗證數值模擬分析結果。 2-5 完成5083鋁合金船段於高溫衝擊與破壞模擬分析。

（海軍造船發展中心）112年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：長距離雷射光照辨識系統於水下威脅物之材質辨識與驗證			計畫期程：112-113年
			研究領域：光電工程
提案單位：海軍造船發展中心　聯絡人：林俊廷　電話：07-5825640			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	水下工程所拍攝的照片觀察發現與陸地上拍攝的圖像不同，主因於複雜的水下環境和光照條件導致水下物件的對比度低、紋路模糊、演色性低與可視範圍小等造成圖像模糊、品質退化等問題。此現象為水下觀測工作和科學研究帶來極大的困難。因此，建構水下觀測(See-Through Ocean)技術將是發展海洋軍事科技的關鍵突破點。在水下探索過程中，能夠給予工作人員最直觀的訊息為即時影像，但由於深海環境嚴峻且太陽光因為海水特性未能傳遞至探索區域，導致影像訊息必須配合照明系統，才能使觀測之物件更為清晰。現階段，在船艦或水下載具的深海環境探索過程中，常使用聲納系統作為極遠距離物件的探索方式，但其提供訊息量遠小於影像訊息，未能提供物件準確之辨識，須仰賴船身或儀器靠近物件並透過相關照明系統的探索方式，以達到物件識別之功能。但上述探索方法有極高不便性與危險性，若能提前辨識物件之色彩、形樣或材質種類，將可對於潛水人員、船艦或無人載具的安全和成本風險降至最低。 藉由Defense News與Quadrennial Defense Review報告，都同時提及迷你無人載具若可匹配水下視覺技術，將可以第一人稱視角觀察水下狀況，但進行水下的觀測與辨識，最重要的莫過於是要有足夠的光源。目前常見的解決方法是以白光燈具做為輔助光源，然而呈現出來之影像品質容易因強光造成光暈、水中散射形成霧氣與色偏差現象導致光色偏向藍、灰色調，使得圖像品質不佳。因此，要成為一張可提供研究、觀測佐證的照片或影片，必須開發水下色彩還原照明與物件材質辨識技術，以降低後續研究或即時觀測之困難度。一般而言，可見光在水中進行傳遞時約在4公尺深時紅色首先被吸收、10公尺時橘色被吸收，依序為黃、綠、藍等色，最後只有10%的藍光可達100公尺深。綜合上述的影響，於水深30公尺時只剩約10%的陽光，而到了水深200公尺已無任何光線，為趕上水下軍事科技技術能量，本計畫必須	

		建立水下觀測技術以改善水下光線不足、對比度降低與色彩偏移等不良影響，仍能長距離掃描偵測水下各式威脅物件，完成物件材質辨識，提供水下物件資訊讓相關人員能精準決策、消除威脅障礙，以凸顯水下軍事科技的重要性。 本研究係屬科技部國防科技發展藍圖且與國際軍事科技同步研發水下觀測系統，本水下雷射辨識材質研究之計畫將整合水下雷射照明與威脅物件材質辨識系統，亦將導入光色調控技術、雷射白光技術與多波段雷射模組等前瞻技術。此設計不但可在遠處探索目標物的材質、近處觀測目標物的形樣，亦可還原物體色彩，改善色彩偏移問題，以提高船艦載具於水下環境的探勘與觀測之能力。
二	計畫目的	水下雷射辨識材質研究之目的是期待透過水下雷射照明與物件材質辨識系統之研發實現水下物件材質辨識、增程水下探索距離，實現船艦及水下載具之智慧辨識之能力。因此，本計畫目的為整合水下雷射/LED 異質光源融合模式，以強化所需探測物件的光能量並還原物體色彩。 本計畫將於**開放水域**執行以下性能試驗: (1)在**距離目標物 70 公尺內**時，以**多波段雷射光源**掃描範圍內的威脅物件，以水下雷射辨識模組辨識鋼、鋁、塑膠、陶瓷等，完成目標物件的材質辨識。 (2)在**距離目標物 50 公尺內**，以多波段雷射光源掃描範圍內的威脅物件，完成目標物件的材質辨識，搭配**水下雷射白光照明模組**觀測威脅物件的形狀或繫鏈等特徵。 (3)在**距離目標物 20 公尺內**，能以 **LED 多彩光源**還原威脅物件之色彩，可由物件型樣、顏色或編碼辨別水雷外型及種類，可讓觀測者建構新的水雷資料庫。 水下雷射辨識材質研究，可由不同距離，採用不同光源特色，辨別水雷等具威脅物件之種類，提供水下資訊讓相關人員能精準決策、消除威脅物障礙。
三	研究議題	水下環境探勘，需要強大水下技術投入，尤其影像及高危險物件辨識等相關技術，透過本計畫強化國內水下探索之技術，以增強水下軍事科技領域的實力。物體位於水下環境，容易產生光暈、霧氣與低演色性之現象，導致水下影像模糊不清，目標物的判斷能力大幅降低，本研究藉由雷射照明技術與多波段雷射能量測量技術，建構水下雷射辨識材質研究能量，增強探索目標物的材質、形樣與色彩，以提高水下環境的識別、探勘與觀測之能力。

本研究將創新開發水下雷射照明技術，提供探測部位的足夠光照能量，建立可長距離觀測目標物，再導入 LED 太陽光譜晶片強化燈具色域。本計畫之水下雷射白光照明的創新技術，首先利用光場平均餘弦與光傳遞散射機率法，建構水下雷射/LED 異質光源融合的傳遞模式，以此模型配合光色調控演算法則，便可強化所需探測物件的光能量並還原物體色彩；接著，物件材質辨識系統的創新技術，是利用多波段雷射其窄角光源特性，降低水下環境對光的散射作用，增長觀測距離突破目前水下目物觀測的技術極限，再導入材質辨識演算法則，即是利用光譜入射物件前及反射後光譜分佈分析，判定此物件對於特定波長之吸收程度，建立光譜分析之模型進行水下物件材質的辨識技術。因此，本水下雷射辨識材質研究，不但可在遠處向目標物件進行探測攝影，而除強化部位外，其餘部位則保有較低的光能量，如此便可減少散射對觀測近距離目標物的影響。

綜合上述，本水下雷射辨識材質研究整合多波段雷射之水下能量測量技術、雷射白光照明光源和物件材質辨視技術，研發水下雷射照明模組與物件材質辨識模組於船舶載具，完成船艦與水下載具的探勘能力及遠距目標物材質之辨識功能。本計畫藉由研發船舶載具所需之水下雷射照明與物件材質辨識系統之過程，蓄積水下軍事科技研發的能量，進而以此計畫提供船艦載具遠距物件材質辨識功能，提供水下檢測、海域測量與深海探勘等研究之使用。

關鍵研究議題歸納說明如下：

1. 本計畫執行的重要性為以窄角光學光路設計，降低水下環境對光的散射作用，不但能提高照明品質而且可增長觀測距離，突破水下物件觀測的技術極限，提高水下環境的識別、探勘與觀測之能力。
2. 建立水下雷射白光照明模組，突破 50 公尺的水下物件照明技術，建立各式水雷資料庫。
3. 建立水下雷射辨識模組，執行水下多波段雷射光源傳遞實驗，進而瞭解雷射光於水下衰弱情況，並對於各種波段之雷射分析和模擬相對應之衰弱曲線，使材質辨識距離達到 70 公尺。
4. 蒐集水下目標物之種類，並執行水下目標物能量反射及吸收特性之實驗，建立目標物材質之光譜數據庫，分析光譜之差異性，使系統可辨識鋼、鋁、塑膠、陶瓷等材質。

		5. 透過前述實驗，導入類神經演算法，分析相異目標物反射光譜之特徵，建構智慧自動辨識光譜特徵之模型，加速辨識之速度並提高系統辨識度之準確性。 6. 完成裝置於船艦、水下載具並於封閉及開放水域進行水下環境探勘性能之評估。
四	運用構想	水下雷射辨識材質研究包括水下雷射白光照明模組與物件材質辨識模組之研發，本計畫預劃於第 113 年度將上述模組裝置於船艦或無人載具上，並於封閉水域進行長距離(50 公尺以上)之物件搜索與觀測，解決傳統照明光源能量易被海水吸收及光型散射等問題，並展現光源對遠距離物件之探照能力。同時，針對水下物件進行材質的光譜分析，建置物件辨識之演算法，使船舶載具具備物件智慧判別能力，提高水下環境的辨識、監控、探勘與觀測之能力。 在研究成果的驗證方法，水下雷射白光照明模組能提供準直性較高的照明效果，並使用光能量映射法設計光路及透鏡，以實現高亮度的遠距離照明效果，並改善其物件之演色性或色彩還原效果。水下物件辨識模組則是藉由不同波長之雷射光能量，比對不同物件的材質反射能量，建置海洋物件的光譜資料庫並透過光譜能量結合的物件辨識演算法(待測物件設定為鋼、鋁、陶瓷、塑材等材料)，實現即時遠距水下物件辨識功能並運用於軍事船艦或水下載具。 本計畫可將 AI 科學專業導入水下科技和水下軍事技術層面，讓台灣海洋的水下技術有獨立自主之技術根基，逐步建置台灣自主設計研發的代表技術－水下雷射辨識材質於船舶及水下載具之應用。
五	技術備便水準評估	本研究規劃於 112-113 年發展長距離雷射光照辨識系統於水下威脅物之材質辨識與驗證，相關研究核心之技術備便水準評估，重點整理如表 1 所示：

表 1. 核心技術備便水準評估表

年度\核心\評估	研究核心	TRL
第一年期	1. 研析水質對雷射傳遞之影響，並建立雷射光於水下影響因素之光譜能量衰弱模型。 2. 蒐集水下目標物之種類與材質，於空氣中及水下進行目標物材質表面特性之實驗，測量多波段雷	TRL 3→TRL 4

	射的反射情況。 3. 於**封閉水域**驗證搭載於水下載具之水下雷射白光照明模組及水下物件材質辨識模組之性能。	
第二年期	1. 延續第一年的成果改善相關系統,進一步發展水下雷射照明系統及水下雷射辨識系統。 2. 於**開放水域**驗證搭載於水下載具之水下威脅物材質辨識試驗與成效。	TRL 4→TRL 5

六 期程工項

本研究預定期程(112-113 年)執行重點摘要,如表 2 所示:

表 2. 期程工項之執行重點摘要表

年度\成果及驗測	研究結果	驗測方式
第一年期	1. 完成**水下雷射白光照明模組**,內容包含:雷射/LED 照明系統光機結構與光路分析模擬;共焦拋物光學透鏡製作及光型量測評估;遠近光源調控演算法。 2. 完成**水下物件材質辨識模組**,內容包含:多光譜雷射能量檢測及分析;建立雷射衰弱模型(水質影響能量傳遞之關係);分析物件與角度偏差時,反射光譜差異。 3. 研究成果報告乙份	於封閉水域執行船艦載具於水下環境探勘性能評估,測試結果於研究成果報告中呈現。

		第二年期	1. 完成**水下雷射照明系統**，內容包含:遠距照明光路設計透鏡製程；雷射/LED 全色域照明之光學特性量測及系統整合。 2. 完成**水下雷射辨識系統**，內容包含:分析物件多角度反射光譜能量，並建立旋轉角度與光譜能量的相關性；建立海洋物件反射光譜之資料庫；建置物件材質辨識的演算法及判斷方式。 3. 研究成果報告乙份	先於封閉水域執行水下雷射照明性能模組及水下物件辨識模組測試及調整，後於開放水域執行實際測試並於研究成果報告中呈現測試結果。

七 成本分析

一、申請補助經費：

金額單位：新臺幣元

執行年次／補助項目	第一年 (112年)	第二年 (113年)	全程總經費
業務費(a+b+c)			
a.研究人力費			
b.材料、耗材及雜項費用			
c.差旅費			
研究設備費			
管理費			
合計			

二、研究人力費

第一年

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		
兼任助理		
兼任助理		

第二年

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		
兼任助理		
兼任助理		

三、材料、耗材及雜項費用

第一年

類別	設備名稱	數量	單價	金額
材料費用				
耗材費用				
雜項費用				
金額合計				

第二年

類別	設備名稱	數量	單價	金額
材料費用				
耗材費用				
雜項費用				
金額合計				

四、差旅費

第一年

類別	金額	說明
高鐵		

第二年

類別	金額	說明
高鐵		

五、行政管理費

第一年

行政管理費	說明

第二年:

行政管理費	說明

八 預期成果

1. 完成水下雷射白光照明模組與水下雷射辨識模組，並掛載於水下載具，於封閉水域進行各項性能的測試評估。
2. 完成水下雷射辨識材質之功能，獲得水下不同物件之反射光譜數據，建立新的水雷資料庫。
3. 水下雷射辨識材質研究，可由不同距離，採用不同光源

		特色，辨別水雷等具威脅物件之種類，提供水下資訊讓相關人員能精準決策、消除威脅物障礙。

國防部海軍令部112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：水下無人載具(ROV)航速10節(含以上)線型開發
1. 消耗型獵雷載具
2. 多功能回收型偵獵雷水下載具</td><td>計畫期程：112年</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>研究領域：船艦</td></tr>
<tr><td colspan="3">需求單位：海軍造船發展中心　　聯絡人：劉永漢</td><td>電話：
(07)582-5640</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">從世界歷史可看出戰爭型態已有莫大的變化，軍事武力已經不是比人多、力大、槍法精準，而是較量各國的國防工業科技發展，以及戰術應用，以小搏大的作戰方式，就是將科技注入國防工業，發展出成本低、人員精簡、可靠度高、安全性佳的作戰載台與武器，並且搭配合適之戰術，以最少的付出成本來應戰，剛好這也是適合台灣進行不對稱作戰的應戰方式。
我國屬於海島型國家，經濟上以貿易為導向，相當仰賴海上運輸，若港口遭水雷封鎖，無論商船或軍艦皆無法進出港，除了經濟癱瘓外，軍事上亦有設備需自國外採購，若無法進口，恐將影響國防工業科技發展，綜上因素，水雷封鎖被認為是未來中共最有可能用來對付我國的戰爭型式。
礙於台灣現階段無自主發展獵雷用水下無人載具(ROV)之能力及經驗，若未來能自主研發，於採購過程中將會更加順利，免受制國外商源，深化國防自主。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫將以高速型水下載具線型開發為目標，分別研發消耗型及多功能回收型兩種具高速線型外型之偵/獵雷水下載具，並可模組化搭載於無人小艇上。消耗型載具將可自攜炸藥，以自爆的方式清除水雷，而多功能回收型載具經裝配後將具有影像辨識、聲納及剪刀式機械手臂等功能，可用於偵雷及繫留雷清除任務。未來，透過開發以上兩款水下獵雷載具高速線型與導控的完成，可讓台灣海軍在獵雷任務上大幅度的提高任務效率。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">1. 112年度：
高航速、高穩定性潛體最佳化線型設計。
利用計算流體力學 CFD 等軟體，建立消耗型及多功能回收型水下載具高航速時操縱姿態模擬分析。
1.1　完成消耗型高速水下載具模型建置。
1.2　完成多功能回收型高速水下載具模型建置。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>四</td><td>運
用
構
想</td><td>在本軍可發揮以下運用：
1. 可模組化搭載於小艇(具無線通訊功能)上，不需額外系統支援，裝卸載快速方便。
2. 消耗型水下載具體積較小、航速高，可增加獵雷任務之效率，並透過遠端遙控自動引爆方式，減少人員處理水雷之危險及降低成本。
3. 多功能回收型水下載具具高航速之載具線型與高效率推進設計，故可提高任務偵蒐效率，且因具功能模組快速安裝擴充特性，可串接水中雷體影像辨識與鎖定功能模組與剪刀式機械手臂功能模組以進行影像辨識、偵雷及清除繫留雷等任務。
4. 導入國內自主生產，免受制國外商源。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技
術
備
便
水
準
評
估</td><td>
<table>
<tr><th>技術項目</th><th>現今之 TRL</th><th>計畫完成時之 TRL</th></tr>
<tr><td>1.1</td><td>TRL 5</td><td>TRL 7</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>TRL 5</td><td>TRL 7</td></tr>
</table>
1.1 高航速與高穩定性潛體最佳化線型設計。
水下載具穩定性潛體最佳化線型設計，經評估國內外資料後，目前大約落在 TRL 5 階段: “可藉 CFD 軟體進行於不同航速下(>20 節)的阻力最小化設計與模擬來得到最佳線型”。 TRL 6 階段: “則會在 TRL 5 的基礎上，於不同的縮尺條件下進行航速<5 節之實際水下阻力試驗”。 TRL 7 階段: “則於不同的縮尺條件下進行航速 10(含以上)節之水下阻力試驗，並進行 1.平擺、2. 橫移、3. 縱移、4. 斜航測試與 5.具漂流角航行測試中至少 3 種的航行驗證”。

1.2 完成兩款高速水下載具實體模型建置。
水下載具實體船模建置於 TRL 5 階段，船廠加工完成之船模精度於船模長度<5m 下，精度必須維持在 3 mm。TRL 6~7 階段，船廠加工完成之船模精度於船模長度<5m 下，精度必須維持在 1 mm。此兩階段對於水下載具船模的要求差別在於進行水槽實驗時的航行驗證複雜度。TRL 7 進行水槽實驗時的航行驗證複雜度會較 TRL 6 多出至少 3 種的航行驗證以接近實際航行狀況。如 1.1 所述。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期
程</td><td>下表為本案研究本年期程工項，共計包含，1.文獻收集、分析及探討、2.高速與高穩定度水下載具設計、…與 6. 實驗數據分析與報</td></tr>
</table>

	工項	告書撰寫等六大工項。

工作項目 \ 進度 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(I) 文獻收集、分析及探討	■											
(II) 高速與高穩定性水下載具設計		■	■	■	■							
(III) 高速水下載具實體施作及建置					■	■	■	■				
(IV) 載具拖航實驗夾治具與輔助機構設計及製作							■	■				
(V) 實測規劃與進行									■	■	■	
(VI) 實驗數據分析與報告書撰寫												■

七	成本分析	經費規劃:

總金額：元

補助項目 \ 執行年次	112 年	全程總經費
(1) 業務費 (a+b+c)		
a. 研究人力費		
b. 材料 、耗材及雜項費用		
c. 差旅費		
(2)研究設備費		
(3)管理費		

八	預期成果	本計畫預計達到設計成果產出如下:

112年：

開發完成兩款水下載具:消耗型(2m)與多功能回收型(4m)，實體模型使其具備

1.1 高航速與高穩定性潛體最佳化線型設計分析，包含阻力模擬及流體動力係數模擬。

1.2 完成兩款高速水下載具實體模型建置。

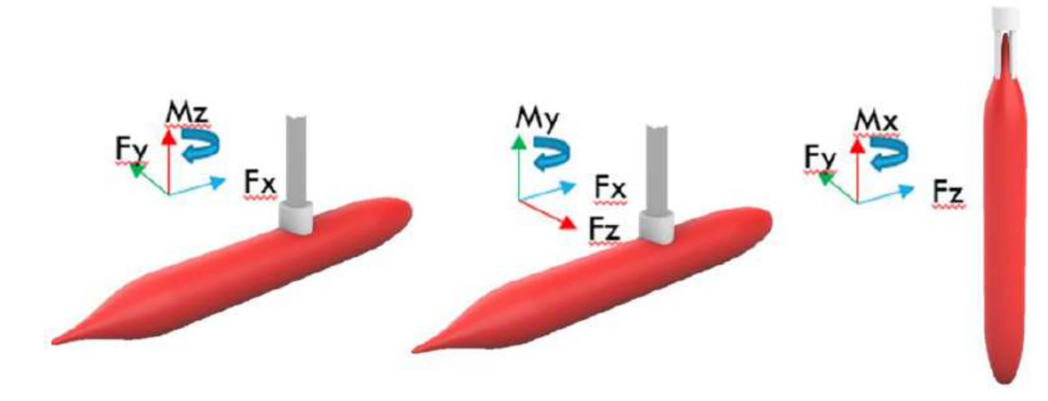
[註]上述設計之基準為最高航速 10 節(含以上)。

1.3 基於上述完成之兩款水下載具實體模型，進行拖航水槽實測，含完成兩款經最佳化線型設計水下載具水中阻力試驗與分析。

		[註]上述驗證之基準為阻力試驗航速 10 節(含以上)。 1.4 將兩款水下載具最佳化之阻力及流體動力係數，紀錄並與實測結果進行比較分析，最後將產出兩款水下載具設計成果各一份。 1.5 確認設計之載具空間與阻力匹配後，其推進系統及電池模組空間需求安裝可行，並提供可行性報告。 本計畫之預期效益如下: ● 本案研究成果的完成，將讓其成為未來新一代高速、高穩定性、低阻力與低耗能水下載具的外型設計關鍵基礎。如再進一步與相關任務導向系統做結合，則可產生進階水下應用功能，如: 1. 透過此高航行效能的外型，再搭配水下定位功能設計與水下載具導控系統，一具高速與長航程可運用於進行水下循跡或巡航之水下載具整合系統即建構完成。 2. 將此高航行效能水下載具與影像辨識或主動式聲波功能系統結合，則本計畫之研發成果將可運用於快速與長時水下偵雷應用。外加爆破模組，則可進行大範圍獵雷任務。此將可提升我國海軍執行獵雷任務之效率與極大幅度降低執行掃雷任務人員的掃雷傷亡率，並厚實我國獵雷載具之國防科技研發能量。 3. 藉由整合水下載具的循跡航行功能與側掃功能，即可進行，任意海域快速水下地圖建立的任務目標。 4. 將高航行效能水下載具之成果與主動式聲納或水下聲源定位及爆破模組結合則可執行攻擊敵方移動水下載具與艦船任務。 5. 將本計畫之研究成果與各式水下主動及被動感測系統與致動系統搭配整合，預估尚有多款極具水下運用價值的創新水下組合運用功能可被開發完成。礙於篇幅，將不多做論述。 ● 此外，此案建構之相關高速、低阻力、高穩定性與高效能水下載具的最佳化設計、模擬流程及拖航水槽實測驗證技術可延伸應用於我國海軍未來預計研發之各式高速、高性能與低噪音之軍用水上與水下載具。此技術可應用之海軍艦船種類：高速船艦、水下飛彈、飛彈快艇、高速魚雷、佈/獵雷船艦與潛艦等。
九	本案研究	本案研究成果之實體將於拖航水槽進行包含，平擺、斜航、橫移、縱移與具漂流角等水下載具阻力量測試驗證，以分析出設計出之水下載具實體模型的於不同船速下的水動力係數與航行效能等。 研究成果驗證方法如下: 1. 藉新一代的 CFD 軟體 scFlow，進行船速 10 節(含以上)，兩款

	成果驗證	水下載具之最小阻力最佳化設計，並進行水下載具受力分析進而轉換出相對應之流體動力係數，而設計出最佳化之流體動力係數，將保留並與實測結果進行比較。於此階段，將產出兩款水下載具最小阻力設計成果各一份，包含設計圖與水下載具流體動力係數分析結果一份。 2. 兩款水下載具實體加工與拖航水槽阻力實驗。於此階段，將產出依據上述 1 最小阻力設計的水下載具實體船模兩款，及進行於不同船速下水槽阻力實驗，及其相對應的水下載具流體動力係數流體動力係數實驗分析報告及與 1 之模擬分析的比較報告各一份。

兩款水下載具實體船模預計進行的拖航實驗說明。水下載具拖航實驗，包含，斜航、横移、縱移、平擺、飄移與具漂流角等載具阻力量測試驗項目。相關量測載台介紹與各拖航實驗說明如下:
本計畫運用量測水下載具阻力之量測裝置為: Planar Motion Mechanism，PMM。此實驗設備可用於量測水面船隻與水下載具之流體動力係數。實務上，不同的待測載具需求的安裝方式也不同，且要量測水下載具所有受力狀況時亦須將載具作姿態的調整，如下圖。藉由設定水下載具船速、振幅、週期與漂流角，設計完成之水下載具的受力與力矩可透過六分力計達成實驗數據的量測。



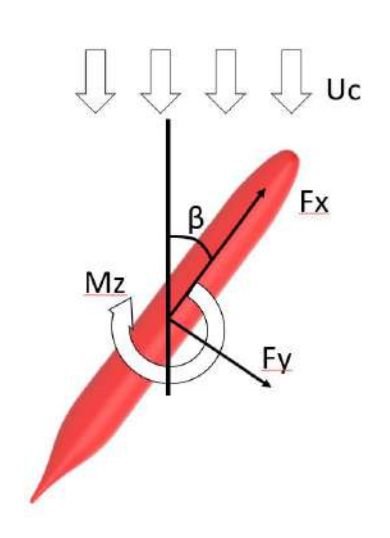
圖一、水下載具水阻力量測示意圖

水下載具水動力係數量測
實務上，用於評估水下載具航行效能(阻力大小)的待量測流體動力係數相當多。以下為量測上述流體動力係數的實驗方法的個別說明。

1. 操縱實驗種類
   A. 斜航實驗
      - 實驗方法

斜行實驗屬於 PMM 實驗當中的靜態測試，其透過將載具固定於不同角度 β，並利用台車將其帶至穩定速度 U_C 時，透過 PMM 上的三分力計量取 X 方向之力量(F_X)、Y 方向之力量(F_y)和力矩(M_z)，量取的數值訊號進行均值處理。

- 實驗示意圖

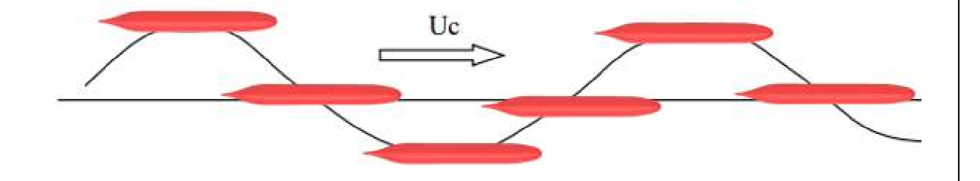


B. 橫移實驗

- 實驗目的

　　此試驗是透過 PMM 協同台車一起作動，台車向前帶動載具模型到穩定速度時，同時 PMM 對船模進行橫向的簡諧運動，並透過六分力計量取其船體與流體之間的力量，量取到的數據經過降噪處理並利用簡諧運動的特性進行分析可獲得流體動力係數: m_y、$N_{\dot{v}}$

- 實驗示意圖

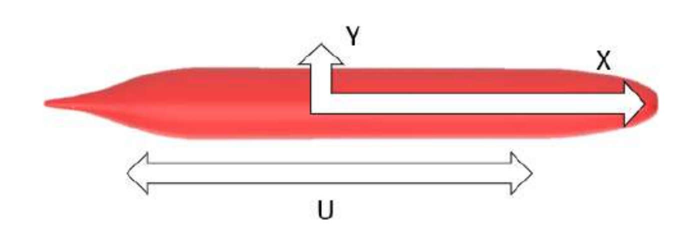


C. 縱移實驗

- 實驗目的

　　縱移實驗與橫移實驗的實驗方法類似，差別在於縱移實驗為船模作 X 方向前後簡諧運動而 Y 方向無任何做動，並將量取到的數據進行簡諧分析，可求取流體動力係數: m_x

- 實驗示意圖

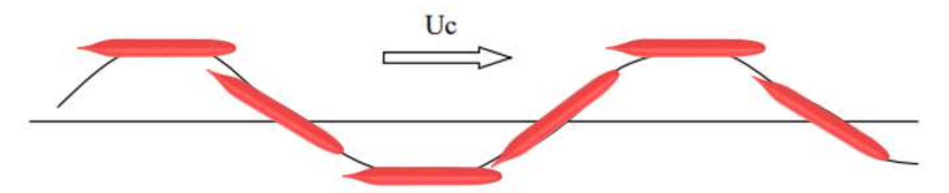


D. 平擺實驗

- 實驗目的

平擺實驗時，透過 PMM 使船模進行簡諧縱移運動和旋轉運動控制船體，使得水下載具在 v=0 時其船模方向與水平線相平行，而此時台車則以固定速度向前進，透過分析量取的數據後可求得流體動力係數。

- 實驗示意圖

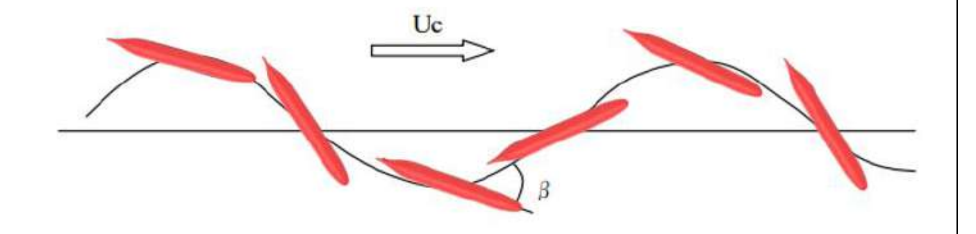


E. 具漂流角實驗

- 實驗目的

與平擺實驗同理，水下載具船模運動將結合平移與轉動，再藉由六分力計來量測其受力與扭矩。此實驗會額外加上一漂流角，使水下載具船模進行水槽測試同時處於平擺實驗與斜航實驗的環境特性下。

- 實驗示意圖



經上述實驗安排，如下表一所示此計畫開發之水下載具所有流體動力係數，全部可於量測取得受力及阻力下被分析出來。

空軍航空科技研究發展中心 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：次音速渦流誘發鰭片設計及飛機動態失速特性之研究	計畫期程：112-114 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：航太工程
提案單位：航發中心　　聯絡人：李奇霖上尉　　電話：04-25631300#574074	

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	綜觀世界各國戰機除了一線主要作戰的飛機追求超音速飛行之外，其餘用途的飛機均以次音速飛機為主，囊括輕型攻擊、拖靶、運輸、砲火觀測、特技飛行表演及飛行訓練等多項任務，可說是各國空軍不可或缺的重要角色，我國空軍各型教練機及運輸機均為此範疇之中；然而對於次音速飛機而言，其失速攻角相對較小，一但進入較高攻角飛行時容易誘發失速，因此如何延緩失速現象的發生及探討失速後飛機動態流場特性，將有助於提升飛機性能及降低飛安風險。 次音速飛機其機翼的展弦比較高，導致失速攻角較小。當飛機處於攻角較高之姿態時，機翼表面的邊界層逐漸開始與表面分離，當邊界層與機翼完全分離時即產生失速，飛機也就失去升力。因此，讓次音速氣流在逼近失速攻角時不易與機翼表面分離，能在機翼前緣增加渦流以產生額外升力，便可改善飛機性能(如起飛與降落)與避免進入失速。目前國外已研究出渦流誘發鰭片裝置，相關研究成果已應用在低速螺旋槳飛機如 PC-21、EMB-312/314 與 DART-450 等飛機上；本研究即透過設計與驗證次音速飛機渦流誘發鰭片裝置之效應，提升飛機在起飛與降落的性能，提高失速攻角，延緩失速現象的發生，後續可視需求，進行超音速飛機的相關設計與研究。  PC-21  DART-450 而當一旦飛機進入失速狀態時，為了擺脫失速後所誘發的飛

		機不穩定性及不可操控性，飛機必須透過位能轉換動能的方式，利用快速降低高度換取速度，使飛機回復可操作性，脫離失速區間，具相當的風險，故探討飛機動態失速特性及相對應的流場結構顯得格外重要，國內目前具備完整的靜態模型流場分析能力，然對飛機動態失速流場結構分析仍多以模擬為主，缺乏有效驗證數據，若能利用較新的實驗量測技術，建立流場結構分析驗證能力，更能了解飛機於動態失速飛行下的特性，未來亦可進一步提升飛機設計的安全裕度，提高飛行安全。 早期此類研究僅能在全機概念設計完成後，進行風洞實驗以測量飛機的升力、阻力與俯仰力矩等，並利用 CFD 模擬飛機在較低攻角飛行下的全機表面流場，並未以量化的實驗數據深入探討渦流誘發鰭片流場結構分佈，然近年來國外已運用表面壓力量測塗料(PSP)試驗技術分析方式來輔助判斷或修正飛機氣動力設計，除可觀測待測物表面流場分佈、渦流結構發展與渦流回貼機制外，也易於觀察動態失速現象。因此，若能應用 PSP 試驗技術觀察表面渦流結構發展、流場分佈與渦流回貼機制，並與 CFD 模擬結果比對與分析，能更好的了解渦流誘發機制對於流場的變化及飛機失速之動態流場分析。
二	計畫目的	本案研發標的主要以技術為主，為設計渦流誘發鰭片的基礎研究及了解飛機動態失速特性，藉由研究渦流誘發鰭片對於機翼流場的影響，改善逼近失速攻角時低速流場分佈，提升飛機氣動力性能，並針對飛機動態失速流場進行分析，以 PSP 實驗結果驗證 CFD 數值模擬，有助於觀察次音速飛機失速後之特性，可做為後續飛機設計之參考外，對於現役或未來研發之次音速飛機，均可參考本案產出之報告，針對不同之飛機外型設計渦流誘發鰭片。
三	研究議題	1. 次音速渦流誘發鰭片設計與流場結構探討。 2. 飛機動態失速特性探討。
四	運用構想	1. 次音速渦流誘發鰭片裝置設計： 應用 PSP 試驗技術進行渦流誘發後的流場探討，與 CFD 模擬結果比對。希望藉由渦流誘發鰭片的應用，延緩失速現象的發生，改善次音速飛機的起降性能，並確認渦流誘發機制對於飛機流場的影響，對於後續本軍次音速飛機如運輸機、初教機及無人機等，均可參考本案產出之報告，針對不同之飛機外型設計渦流誘發鰭片，後續也可將此案成果應用至相關專案。 2. 飛機動態失速特性之研究：

		相關研究一直以來主要是以經驗公式搭配國外相關風洞裝備吹試以獲取參數進行分析，然近年來由於數值模擬方法及電腦硬體設備的不斷更新，CFD 運算時間的縮短及動態參數模擬的計算結果已逐漸成為初期分析主軸，故本研究將透過 CFD 的方法進行渦流誘發鰭片對機翼動態失速之模擬，並與 PSP 風洞實驗數據做比對，另亦針對全機動態失速飛行下之特性進行模擬，除可了解渦流誘發機制外，亦提升 CFD 於動態失速模擬中獲取參數分析之能量，可作為後續飛機設計驗證前之分析依據，以提升飛機設計的安全裕度，提高飛行安全，亦可達樽節經費之效果。
五	技術備便水準評估	本案經整體評估後，技術備便水準評估預計為 TRL2「概念研究或應用分析」，觀察逼近失速攻角的流場，透過 CFD 模擬及實際模型搭配 PSP 試驗技術風洞試驗，進行驗證渦流誘發鰭片產生渦流分離回貼機制；另應用 CFD 模擬進行飛機失速後之動態流場分析，建立動態參數數值模型及分析方法作為設計分析依據。透過此案的研究成果，預計可提升至 TRL3「概念驗證與應用規劃」，並配合未來計畫需求運用。
六	期程工項	112 年： 主要工作項目以蒐整文獻資料、前期 CFD 數值模擬研究及製作後續實驗使用模型，相關工項如下所述： 1. 蒐整渦流誘發鰭片國內、外有關文獻資料執行概念設計研究。 2. 使用 CFD 數值模擬方法模擬並觀察渦流誘發鰭片造成的渦流結構與分佈。 3. 使用 CFD 模擬機翼動態失速現象。 113 年： 主要工作項目除 CFD 持續進行模擬外，風洞模型製作並開始執行 PSP 實驗量測，相關工項如下所述： 1. 以 CFD 模擬全機在較低攻角飛行條件下的流場 2. 應用渦流誘發鰭片的機翼低速風洞模型設計與製作。 3. 使用 PSP 於低速風洞中觀察渦流誘發鰭片造成的表面流場。 114 年： 主要工作項目針對全機 CFD 模擬，PSP 實驗量測與分析作業，並將實驗數據與 CFD 模擬執行驗證，相關工項如下所述：

		1. 使用 PSP 於低速風洞中觀察應用渦流誘發鰭片的機翼模型的表面壓力分佈與流場分離位置。 2. 撰寫渦流誘發鰭片設計驗證報告。 3. 使用 CFD 模擬全機動態失速現象。 4. 撰寫動態失速流場模擬分析報告。
七	成本分析	
八	預期成果	本計畫完成後，藉由 PSP 試驗技術觀察到的渦流結構與流場分佈，比對驗證 CFD 模擬分析結果，針對應用渦流誘發鰭片後的流場進行深入探討，確認低速飛機逼近失速攻角的流場結構，並分析飛機失速之動態流場分析。此案預計將產出渦流誘發鰭片設計驗證報告、動態失速流場分析報告、應用渦流誘發鰭片的機翼低速風洞模型等。

空軍航空科技研究發展中心112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：運用智能空戰開發近戰纏鬥之研究</td><td>計畫期程：112-114年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：航太工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：航發中心　　聯絡人：林鈺展少校　　電話：04-25631300#574078</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">今人工智慧蓬勃發展，從影像辨識、語音辨識、自然語言分析、AlphaGo等，已經在不同領域被加以利用，甚至在某些競賽中戰勝人類。近年來人工智慧技術在學習人類感知決策能力的成功經驗，已逐漸融入我們的日常生活當中，如：無人車、民用無人機、人臉辨識認證等。但如何將人工智慧技術運用於智能化空戰等軍事領域，儼然是目前軍事大國刻不容緩且積極投注國家資源研究的熱門議題。美國和中共等軍力強國，都將人工智慧技術提升到了國家戰略層次，如美國國防高級研究計劃局(Defense Advanced Research Projects Agency，DARPA)及我國航發中心等國防先進研究機構，也逐年推動前瞻性科研專案，加速人工智慧在自主性空戰領域的落地深根，早日實現智能空戰願景。
2016年，由美國辛辛那提大學研究團隊、Psibernetix公司以及美國空軍共同研發的AI飛行員ALPHA在空戰模擬器中100%擊敗了經驗豐富的美國退役空軍上校Gene Lee。賽後Gene Lee表示，ALPHA是他有史以來遇過「最有侵略性、反應快速、應變靈活和可靠」的對手。
2020年，DARPA的「空戰演化」第一階段Alpha Dogfight計畫中，AI演算法與飛行員進行模擬器對決，人工智慧以5:0大勝人類。該項目負責人表示：「未來的戰爭要求人類操作平臺與無人系統並肩作戰，所以能夠信任人工智慧的自主性這一點非常關鍵。未來，我們期望在視覺範圍內的空戰中，人工智慧負責處理瞬間的機動操作，讓飛行員更安全、工作更高效，因為他們要將大量的無人系統編排成一個具有壓倒性戰鬥效果的網路。」。
「空戰演化」為了實現「馬賽克戰」(mosaic warfare)願景而設計的發展方向。「馬賽克戰」的概念是強調有人機與無人機的聯合應用。有人機成本高、研發時間長，而無人機則可依賴最新技術進行快速研</td></tr>
</table>

		發、部署、升級，應對不斷變化的威脅。將有人機與低成本的無人機組合起來，構建一塊「馬賽克」區域，在這塊領域中，每個個體可以很容易地重新組合，產生不同的戰術效果，從而增強作戰能力。 參考世界軍事大國的發展脈絡，第一步將先於模擬環境進行演算法發展與驗證，進而逐步邁向實體載具自主空戰決策，使無人載具真正邁向智能化之階段。
二	計畫目的	本計畫參考 DARPA 之 Alpha Dogfight 計畫概念，建立「智能空戰平臺」，並進行決策演算法「AI 飛行員」開發，於平臺中進行擇優。依執行任務結果之最佳 AI 飛行員，於平臺上與人類飛行員透過模擬器進行聯測，因此本計畫將分為三個子議題進行發展： 1. 智能空戰平臺：模擬載具於不同作戰場景之狀態，反映不同對戰動作與戰損，評估決策能力與模擬作戰效益，並相容於 COBRA 與模擬器，可相互構連對戰。 2. AI 飛行員：依不同載機、不同作戰環境與不同目標任務，如：1 對 1 之模式，進行 AI 飛行員演算法設計與決策模組之開發。 3. 智能空戰分析與測試：規劃對戰場景、對戰載機與定義 AI 飛行員戰力評分機制，評選兼具戰力與合理性之 AI 飛行員。依多次擇優後，最佳 AI 飛行員再與人類飛行員進行近戰纏鬥，藉由飛行員之專業角度，評斷與驗證 AI 之決策能力。 本計畫將規劃以學研單位與國防工業發展機構共同執行之方式進行。由學研單位進行智能空戰平臺與 AI 飛行員之開發，以創新思維結合 AI 技術進行發展。於智能空戰分析與測試將借重國防工業發展機構於空戰模擬之經驗進行對戰規則擬定與整合，擔任客觀評分之腳色，並由航發中心將協助委派飛行員進行對戰與驗證。 計畫最終將於智能空戰平臺模擬本國戰機，因應臺海作戰環境，探討 AI 飛行員所需執行之單機任務與多機任務。制定任務達成率之評比，並與飛行員編組對戰，以評判不同演算法之能力，確保決策結果符合任務之所需，透過成熟的 AI 智能開發，未來應用上，可參考逐項作戰決策，進而優化目前戰術戰法。
三	研究議題	本計畫以 3 年期時間完成，議題分述如後： **子題一：智能空戰平臺開發與建置** (1) 智能空戰平臺基本功能與運作準則之建置 建立可擴充式智能空戰平臺，且平臺模擬環境為可調整式之模組化設計，應包含模擬不同作戰場景與不同戰機性能之功能，可使 AI 飛行員進行戰機決策與操控，以完成不同任務。系統應可即時顯示對戰狀態、紀錄模擬結果，並產出整個模擬之過程動作，以利後

		續進行演算法優劣評判。 (2)智能空戰平臺多機連網模組開發 智能空戰平臺應訂定標準連線協定並開發連線模組，使 AI 飛行員可交互連線，進行單對單對抗。此標準協定與連線模組可使不同模擬平臺相互構連。 (3)智能空戰平臺與 COBRA 空戰模擬軟體、飛行模擬器構連 透過多機連線模組，第一階段先與 COBRA 空戰模擬平臺完成構連，使 AI 飛行員與 COBRA 決策邏輯進行交戰測試。第二階段將智能空戰平臺與飛行模擬器進行相互構連，使資料能跨平臺交換與同步，俾利 AI 飛行員可與人類飛行員透過模擬器進行即時對抗。 **子題二：AI 飛行員決策模組開發** (1)AI 飛行員演算法設計 設計決策演算法之架構，參考規則型(rule-base)演算法、訓練型(learning-base)演算法與粒子群(Particle Swarm Optimization, PSO)演算法等概念，並結合空戰特性進行演算法設計。 (2)AI 飛行員決策模組開發 執行 AI 飛行員設計開發及訓練，依空戰決策演算法進行 AI 飛行員決策模組開發，並於智能空戰平臺中依作戰任務科目進行測試；開發完成之 AI 飛行員需符合作戰任務評分之最低標準。 (3)優化 AI 飛行員決策模組 透過與 COBRA 空戰模擬軟體對戰結果，國防工業發展計構之 AI 飛行員評估準則(子題三)，持續優化各自 AI 飛行員決策模組，以取得最佳決策邏輯。優化後之 AI 飛行員將可與人類飛行員進行對戰。 **子題三：智能空戰決策分析與整合測試(委由國防工業發展機構執行)** (1)制定 AI 飛行員評分標準 AI 飛行員作戰任務科目與評分標準訂定，參考空軍現有之任務與戰術，如：基本飛行、空中戰鬥巡航、緊急起飛攔截、空中纏鬥等，研析且訂定決策演算法所適合之任務科目。考量 AI 飛行員產生過於任務結果導向之人類無法預期之動作，如自殺式攻擊，需嚴謹依作戰任務科目制定演算法擇優評分標準。依作戰任務科目制定演算法評分標準，其應包含：完成性、合理性、穩定性與效能等構面。 (2)制定智能空戰對戰準則 擬定 AI 飛行員測試方式並與 COBRA、人類飛行員等對戰規則，包含對戰場景、對戰載機與對戰限制等等，使其在合理條件下

		進行評估與分析。 (3)AI 飛行員與 COBRA 擇優分析 依作戰任務科目 COBRA 進行對戰，並依 AI 飛行員評分標準進行優化與驗證；另開發完成之 AI 飛行員需符合作戰任務評分之最低標準。 (4)AI 飛行員與人類飛行員近戰纏鬥 經與 COBRA 進行對交互戰優化後，與人類飛行員模擬器連線測試及訓練，依作戰任務科目進行對戰，俾利優化 AI 演算法；另開發完成之 AI 飛行員需符合作戰任務評分之最低標準。
四	運用構想	智能空戰全案區分為兩階段，本案為第一階段，規劃先建立完善之智能空戰平臺，並開發成熟之 AI 飛行員演算法，能自主決策完成單機任務，透過與有人模擬機進行對抗，以驗證 AI 飛行員之決策能力；若第一階段執行順利，未來在第二階段將規劃使 AI 飛行員搭配有人模擬機，進行協同作戰任務，透過各種模擬成果，協助規劃未來忠誠僚機之戰術，優化我軍戰術戰法，以提升未來空戰效益。 全案分為三個子議題，於技術發展主要開發智能空戰平臺與 AI 飛行員等兩項，其運用構想說明如後： 1. 智能空戰平臺： (1)優化我軍戰術研發： 於智能空戰平臺中，可模擬多無人機與構連有人機模擬器，可用於單無人機、無人機群與有人機搭配無人機之戰術研發。 (2)有人機/無人機對戰與協同作戰訓練： 有人機搭配無人機之聯合作戰應用尚無實例，可於智能空戰平臺中構連模擬器使人類飛行員進行訓練。 2. AI 飛行員： (1)單機作戰決策： 於模擬環境中，確認單機無人載具將具備自主決策之能力。可依不同作戰需求完成指定任務，更可代替有人機在危險的環境執行作業。 (2)有人機搭配無人機決策： 於模擬環境中，確認無人機與有人長機共同執行任務。飛行員可與 AI 飛行員進行溝通及控制它執行指定任務，命令透過數據鏈發送給無人僚機，無人僚機透過演算法運算後能夠達到高度自主能力，且完成長機賦予的指定任務，大幅度提升空軍有人/無人機協同作戰能力。 (3)機群偵蒐/攻擊範圍最大化：

		於模擬環境中，當無人機群執行偵蒐/攻擊任務時，能以最少的無人機數量達到最大範圍之偵蒐/攻擊效果，雖以最少數量為目標，仍須考量備援機制，於任務可靠性和成員數量間取捨，達到範圍最大化之目的。

五

技術備便水準評估

1. 參考國內外技術本研究計畫的 TRL 評估表如附件一所示。
2. 本計畫構想分為三項子議題，其一為 AI 飛行員開發及訓練，其二為智能空戰平臺的開發與建置，其三為結合作戰場景與空戰邏輯之整合測試，將 AI 飛行員、COBRA 模擬軟體及有人模擬器等 3 者進行整合運用，藉以協助開發成熟之演算法，透過不斷對抗而演進，最終應用為協助優化我軍戰術戰法。依據期程規劃，訂定「技術發展里程碑」與「查核點及評量指標」，詳如下表：

技術發展里程碑

年分	子題	里程碑
112 年	一	完成智能空戰平臺模擬環境
	二	完成空戰決策演算法設計
	三	完成 AI 飛行員作戰任務科目與評分標準
113 年	一	完成智能空戰平臺與 COBRA 對戰聯測
	二	完成 AI 飛行員決策模組開發
	三	透過 COBRA 完成 AI 飛行員擇優分析
114 年	一	完成智能空戰平臺與模擬器對戰聯測
	二	完成 AI 飛行員決策優化
	三	完成 AI 飛行員與人類飛行員對戰測試

查核點及評量指標

查核項目	查核點						評量指標
	112		113		114		
	6月	12月	6月	12月	6月	12月	
子題一： 智能空戰平臺開發與建置	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ		1. 平台系統架構： (a) 系統作業環境。 (b) 系統架構圖、功性能規範。 (c) 與 AI 飛行員介面控制文件。 (d) 與 COBRA 介面控制文件。 (e) 與模擬器介面控制文件。 2. 空戰模擬： (a) 模擬空戰環境與對戰組合。 (b) 模擬戰機符合物理特性。 (c) 模擬戰機掛載不同武器進行對戰。

										(d) AI 飛行員控制介面測試。 3. 多機連線模組： (a) 標準連線協定文件。 (b) 多機連線測試報告。 4. 與 COBRA 對戰測試,符合介面控制文件標準。 5. 與模擬器對戰測試，符合介面控制文件標準。	
			子題二： AI 飛行員決策模組開發		ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	1. 空戰決策演算法： (a) 演算法架構。 (b) 演算法流程。 2. AI 飛行員決策模組： (a) 可輸入智能空戰平台狀態 (b) 可輸出決策動作 3. 於空戰模擬平台進行對戰自測： (a) 對戰測試紀錄表。 (b) 結果評分標準表。 4. 依與 COBRA 對戰結果改善演算法，滿足評分標準。 5. 依與模擬器對戰結果改善演算法，滿足評分標準。	
			子題三： 智能空戰決策分析與整合測試		ˇ	ˇ	ˇ		ˇ	1. AI 飛行員作戰任務科目與評分標準表。 2. 智能空戰對戰準則： (a) 作戰場景擬定 (b) 對戰載機擬定 (c) 對戰規則擬定 3. AI 飛行員與 COBRA 對戰： (a) 對戰測試紀錄表。 (b) 結果評分標準表。 4. AI 飛行員與人類飛行員對戰： (a) 對戰測試紀錄表。 (b) 結果評分標準表。	

六	期程工項	子題一：智能空戰平臺開發與建置 112 年：智能空戰平台基本功能建置 產製智能空戰平台 Level1(含系統架構、使用手冊、軟體原始碼等)。 113 年： (1) 智能空戰平台多機聯網模組開發 產製智能空戰平台 Level2。含通訊協定、使用手冊、軟體原始碼等。 (2) 智能空戰平臺與 COBRA 空戰模擬軟體構連 進行與 COBRA 構連測試。含測試報告、合格標準表等。 114 年：智能空戰平臺與飛行模擬器構連 進行與飛行模擬器構連測試。含測試報告、合格標準表等。 子題二：AI 飛行員決策模組開發 112 年：AI 飛行員空戰決策演算法設計 設計空戰決策演算法。含演算法架構、流程與說明等。 113 年：AI 飛行員決策模組開發 產製 AI 飛行員。含軟體執行模組、軟體原始碼、原始碼說明文件等。 114 年：AI 飛行員決策模組優化 依分析與對戰結果優化演算法。含優化說明文件、軟體原始碼等。 子題三：智能空戰決策分析與整合測試(委由國防工業發展機構執行) 112 年： (1)AI 飛行員作戰任務科目與評分標準訂定 產製 AI 飛行員作戰任務科目與評分標準機制。 (2) 智能空戰對戰準則擬定 擬定對戰規則並產製智能空戰平臺設定檔。含對戰場景、對戰載機與對戰規則等。 113 年：AI 飛行員擇優分析 產製擇優分析報告。 114 年：AI 飛行員與人類飛行員對戰測試 產製測試報告(含測試過程與結果、測試結果分析)。 整合上述工項，全案規劃執行下述測試驗證項目： 1. 智能空戰平臺模擬戰場環境功能測試。 2. 智能空戰平臺單機基本飛行操作功能測試。 3. 智能空戰平臺多機聯網對戰操作功能測試。

		4. AI 飛行員軟體模組於智能空戰平臺進行單機操控整合測試。 5. 智能空戰平臺與 COBRA 聯網對戰測試。 6. 智能空戰平臺與模擬器聯網對戰測試。 7. AI 飛行員軟體模組於智能空戰平臺與 COBRA 對戰整合測試。 8. AI 飛行員軟體模組於智能空戰平臺與模擬器聯網對戰整合測試。
七	成本分析	
八	預期成果	一、智能空戰平臺。模擬載具於不同作戰場景之狀態，反映不同戰術與戰技，評估決策能力與模擬作戰效益。 二、AI 飛行員。可依不同載具、不同作戰環境與不同目標任務，如：1 對 1、2 對 2、多對多…等模式進行最佳之決策。 三、AI 任務與評估。訂定符合 AI 飛行員之任務科目及針對 AI 飛行員評估適用性。

國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	智能空戰平臺-戰場/載具模擬技術	3	國防科技研發機構研發之模擬系統與市售軟體皆具備此技術之應用。此技術尚需進行移植至智能空戰平臺，並進行整合測試。	4	模擬平臺技術已相對成熟，開發風險低，僅需再多加考量如何建立符合 AI 飛行員測試之智能空戰平臺。
2	智能空戰平臺-多機構連技術	3	國防科技研發機構研發之模擬系統與 COBRA 空戰模擬系統已完成連網對戰測試。此技術尚需進行移植至智能空戰平臺，並進行整合測試。	4	多機構連技術已有實際開發案例，開發風險低，但需選定符合多種平臺適用之通訊協定進行開發。

3	智能空戰平臺-演算法模組控制介面	3	國防科技研發機構研發之模擬系統已有相關控制介面可進行參考，但尚需於智能空戰平臺中開發供演算法控制之介面。	4	參考不同戰機控制參數已有相關參考，但仍需與演算法的介面進行整合與確認，開發風險低。
4	人工智慧決策演算法設計	2	目前規則式、監督式、強化式等決策邏輯應用在各種遊戲環境已相當普遍。相關演算法已在空戰模擬環境中進行測試，因空戰為多變量高複雜度環境，將持續進行研改與測試，提升演算法能力。	5	目前各種決策演算法皆能取得相關參考，但需評估適用性並加以研改與設計，開發風險中。

5	AI 飛行員-基本飛行決策	2	基本飛行之目標與動作複雜度較低，在部分遊戲場景中已被實作與證實可行性。此技術尚需進於智能空戰平臺進行開發。	4	基本飛行之動作複雜度低，於決策演算法之開發技術門檻較低，但仍需適用不同載具之控制程序，開發風險中。

國防部軍備局生產製造中心第二０二廠
112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：含活性金屬燃料之壓裝彈頭鈍感及燒夷特性之研究</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：化學工程</td></tr>
<tr><td colspan="3">提案單位：第二０二廠　聯絡人：王姿尹聘員</td><td>電話：02-2785-0271#655328</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1. 國外現行服役高爆彈頭已具備高爆、燒夷及曳光等功能，例如 MK238 及 MK264 30 公厘高爆燒夷曳光彈等。其高爆彈頭係以爆炸產生破片方式，達到對輕裝甲、建物之破壞或人員殺傷。
2. 國外彈藥所用高爆藥為 PBXN-5，屬高能鈍感型炸藥，可增加對目標產生爆炸外之高溫燒夷及超壓狀況，造成目標持續及延滯性傷害，癱瘓敵軍戰力為目的。
3. 我國目前使用之高爆藥為 A5 炸藥、TNT 及 B 炸藥，能量較 PBXN-5 低，本國兵器系列叢書-「火炸藥特性手冊」及「推進劑學」提出，含金屬燃料之炸藥可提高爆溫、爆速及爆壓，增加威力及猛度，該製程可提高本廠現有炸藥之效能，此為全案之科技前瞻性。
4. 近年因活性金屬燃料肇生多起工安事故，故建議先以實驗室等級小量試製，俟完成高能鈍感配方開發及最佳壓藥參數研究，再將其研究成果應用於實際量產製程上，可達到在安全無虞的製程下亦提升我國武器性能之功效，此為全案之必要性。
5. 為配合陸軍「迅馳專案」執行 30 公厘鏈砲車量產規劃，本廠刻開發 XTC110 30 公厘高爆燒夷曳光彈，現已完成彈筒自製，彈頭部分待開發中，未來將逐漸提高全彈自製能量，銜接國防科技發展。

1. 彈頭總成
3. 發射藥
2. 彈筒總成
4. 彈鏈
圖. XTC110 30 公厘高爆燒夷曳光彈</td></tr>
</table>

二	計畫目的	我國目前現役高爆彈之高爆藥以 A5 炸藥及 TNT 為主，能量較國外 30 公厘高爆藥(PBXN-5)低，規劃以添加金屬燃料製程提高現行高爆藥之效能，俾利爆炸能量與 PBXN-5 接近，本計畫分年度達成目的如下： 112 年：藉由炸藥添加活性金屬燃料、鈍感劑、聯結劑等配方，調製可獲得最佳理論爆熱、相對安定及鈍感之配方。 113 年：由第一年所獲配方，執行壓製條件參數選取，藉由藥柱平面應變斷裂韌度測試，選取較佳之壓製條件，執行彈頭威力及燒夷能力比對評估測試。
三	研究議題	112 年 1.針對含活性金屬燃料壓裝炸藥各式配方最佳爆熱配方調配研究。 2.壓裝配方聯結劑、鈍感劑相對安定性測試調配及研究。 3.各式配方鈍感性測試及研究。 4.兼顧安定性及安全鈍感性配方確認。 113 年 1.壓機壓力參數調配，獲得最佳藥柱強度。 2.壓裝藥柱平面應變斷裂韌度測試。 3.最佳壓斷配方燒夷特性測試。 4.彈頭威力及燒夷能力比對評估測試。
四	運用構想	1.含活性金屬燃料之高爆炸藥彈頭，對目標產生爆炸外之高溫燒夷及超壓狀況，對城巷戰攻擊時，彈頭於碉堡內引爆，除爆壓外，高溫可對建物內部造成持續性燃燒破壞。 2.含活性金屬燃料之高爆彈頭另可對重要設施如油庫、電廠、機堡及重要指揮所等，產生爆炸後之燒夷高溫危害，癱瘓相關人員及設施之運作。
五	技術備便水準評估	1.本案關鍵技術計「含活性金屬燃料炸藥配方及製程開發」及「活性金屬燃料炸藥壓藥參數訂定」等兩項。 2.國外均有相關配方及製程參數文獻報告，惟本國目前研製階段僅完成初步混配確認其可行性及相容性，經評估「含活性金屬燃料炸藥配方及製程開發」乙項技術為 TRL2。 3.因尚未完成最佳配方開發，且未實際壓裝於武器系統組件上，經評估「活性金屬燃料炸藥壓藥參數訂定」乙項技術為 TRL1。 4.經檢討，可透過相關程式計算最佳配方，再經由實驗開發、試製及驗證，應能獲得適用配方及壓藥參數，上述兩項關鍵技術均能達到 TRL4。
六	期程工項	學界 112 年 1.文獻探討。 2.最佳配方模擬分析。 3.防護裝備、檔板及壓藥機具備便。 4.配方試製。 5.配方驗證。 113 年 1.壓機壓力參數調配。

<table>
<tr><td></td><td></td><td>2.彈頭威力及燒夷能力比對評估測試。
3.實驗室環境下組件性能確認測試。
4.實際量產防護檔板強度計算。
本廠
擔任專案管理角色，定期與學界研討執行進度，掌握研究方向是否與計畫目的相同，研製期程適合符合工項期程。</td></tr>
<tr><td>七</td><td>成本分析</td><td>一、申請補助經費：　　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><th>執行年次／補助項目</th><th>第一年
（112年）</th><th>第二年
（113年）</th><th>全程總經費</th></tr>
<tr><td>業務費(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a.研究人力費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b.材料、耗材及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c.差旅費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
二、研究人力費　　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><th>類別</th><th>金額</th><th>請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）及計算方式</th></tr>
<tr><td>主持人
計畫主持費</td><td></td><td>研究計劃構想建構，技術、設備及人力等研究能量整合，召開定期會議，出席各期中審查報告，及研究報告。</td></tr>
<tr><td>共同主持人
計畫主持費</td><td></td><td>含活性金屬燃料炸藥配方研究規劃及壓藥製程開發研究之統籌與計畫執行及進度掌握</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由博士生擔任，共計1名
含活性金屬燃料炸藥配方研究實驗及壓藥製程開發實驗</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由碩士生擔任，共計2名
文獻蒐集及研究定期進度報告整理，實驗購案申請及結報等相關行政工作，並協助實驗及檢測分析執行</td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>1.建立含活性金屬燃料最佳配方之爆溫分析。
2.建立炸藥、金屬燃料、鈍感劑、聯結劑多元配方最佳化參數分析能量。
3.建立含活性金屬燃料炸藥配方及製程開發關鍵技術。
4.完成實際量產時，生產線所需防護檔板強度計算。</td></tr>
</table>

國防部軍備局生產製造中心第二0二廠
112年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：迫砲易燃性裝藥材料安定性研究		計畫期程：112年
分年經費規劃：		
全期經費額度：		研究領域：化學工程
提案單位：第二0二廠　　聯絡人：陳亭宇中尉　　電話：02-27850271#655341		

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	隨著現代化戰爭與科技發展，現今彈藥多採模組化設計，迫砲藥包可發展快速裝填搭配之樣式，鑑於早年美軍用於生產發射藥曾多次肇生危安情形，該材料具備自燃、難以久儲、高危險之特性。 現國軍迫砲類彈藥之發射藥外部包裝材料為螺縈纖維，其功能主要在模組化設計下包裹發射藥，提供部隊在於不同作戰需求下，自由增減藥量，使彈藥能在有效射程內射擊命中目標物，該外部包裝材料經發射藥燃燒無法完全燃燒乾淨，進而產生積碳，因材料本身內含碳分子無法完全經由熱解反應下轉變為碳氧化物或其他碳氫氧化物，常使砲管在一定射擊發數後須由人員清潔砲管，然而其中積碳亦含有射擊後殘餘熱，恐造成砲管燒蝕、破壞砲膛等負面效應。本案前期研究為有效降低現有國防科技上彈藥射擊時殘留物質，亦須具備機械性質及含能表現等關鍵性能，參考國外現有可燃性裝藥材料，故以可燃性膠殼類型之裝藥材料加工及配方研究為主軸進行研究開發。 現先進國家已採用可完全燃燒裝藥材質裝填發射藥，因前期研究藉由濕式澆鑄法並結合真空成型技術製作迫砲用易燃性材料膠殼，現已完成開發設計，惟尚未針對膠殼結合、發射藥裝填及安定性試驗進行研究，且增加材料之安定性必為製程所需之必要研究，以利提高庫儲安定性，並可符合科技前瞻性及必要性。 可燃性膠殼係硝化纖維素為主要含能材料，並填加增塑劑、黏合劑之化合物，以製備為高分子塑性複合材料，提升機械強度及射擊系統穩定性。本製程生產成本低、溫度範圍內無殘渣，且可應用於未來判斷現行彈藥儲存年限。 圖1現行迫砲彈藥包　　圖2 可燃性膠殼
二	計畫目的	為提升武器系統射擊穩定性，針對迫砲用易燃性材料膠殼進行最佳製程配方調整並執行安定性(老化)測試，達到提升材料安定性之需求，並規劃採學術合作方式進行迫砲用易燃性材料膠殼開發作業。

三	研究議題	1.膠殼安定性試驗資料蒐整、分析及評估。 2.相關配方、加工製程與設備技術開發。 3.建立實驗室級模擬安定性（老化）、鑑定安定性之設備。
四	運用構想	本計畫研製成果可結合運用於本廠製作迫砲用易燃性材料膠殼長久使用，避免因久儲造成品質劣化或射擊時毀損武器系統，將有助武器系統的射擊穩定性，所研究之安定性試驗概念及原理亦可延伸至相關武器系統上。
五	技術備便水準評估	本計畫考量本廠先前已完成易燃性裝藥材料初步研發，並獲得成果，故評估屬技術備便水準 TRL3「對關鍵功能能進行分析與實驗/證明概念特性」，俟完成安定性（老化）試驗評估後，即可針對系統組件在實驗室環境下進行相關測試，屆時關鍵技術達 TRL4「組件/模組能在測試環境下確認」。
六	期程工項	1.本廠： （1）提供學界單位原迫砲彈尺寸，以利膠殼套於彈體時密合。 （2）定期與學界進行階段性成果研討，俾符需求。 2.學界單位： （1）文獻探討。 （2）設計安定性（老化）試驗。 （3）最佳配方製程。 （4）執行安定性（老化）試驗驗證。

七　成本分析

一、申請補助經費：

金額單位：新臺幣元

補助項目＼執行年次	第一年 （112年）	全程總經費
業務費 （a+b+c）		
a. 研究人力費		
b. 材料、耗材及雜項費用		
c. 差旅費		
研究設備費		
管理費		
合計		

二、研究人力費　　　金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		迫砲易燃性裝藥材料安定性研究之規劃與統籌，以及各分項研究之整合
共同主持人 計畫主持費		安定性研究之統籌與計畫執行及進度掌握，規劃與設計老化實驗

兼任助理		由博士生擔任，共計2名 高分子老化實驗，材料鑑定及物化性分析
兼任助理		由碩士生擔任，共計5名 文獻蒐集及整理，協助老化實驗及檢測分析
合計		

三、研究設備費

類別	設備名稱(中文/英文)	說明	數量	單價(元)	金額(元)	經費來源	
						本部補助經費需求	提供配合款之機構名稱及金額
機械設備	材料安定性檢測裝置	執行材料安定性檢測及分析	1				

八	預期成果	1.獲得膠殼安定性試驗之模擬老化設計、鑑定安定性基準及實際驗證，以厚植本廠技術能量。 2.完成最佳配方製程調整，達到提升材料安定性需求，以增加武器系統射擊穩定性。

國防部軍備局生產製造中心第202廠
112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計與模擬分析</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：電機工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：第二0二廠　　聯絡人：刁兆穎上尉　　電話：02-27850271#655340</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1.因應世界各國迫砲系統均朝車載式發展，以達到快速部署、機動作戰之戰術目標，軍種於110年提出新式120公厘迫砲車需求，而我國目前大口徑火砲系統之進彈方式均採人工操作，但因彈藥重量較重，雖然運輸期間可藉由載具運送，惟在彈藥裝填時，因迫擊砲射角範圍較大，且於各射角均需具備直接進彈功能，故對官兵造成操作負擔。

圖、美軍120公厘先進迫砲系統
2.因目前迫擊砲系統均採前裝填方式實施射擊，官兵需將彈藥拿移至砲口前，離地高度超過1公尺，除會造成人力運用上的負擔，亦會增加人員在戰場上之曝露時間，鑑此，本計畫區分火砲及彈藥等2部分執行砲塔式迫砲系統先期研究作業，分述如下：
(1) 火砲部分：將參據國外已發展迫塔式後裝填迫擊砲系統設計概念，採半自動進彈機構，由官兵自儲彈艙拿取彈藥後，置於進彈機構上，由進彈機構自動將彈藥送入砲膛進行擊發任務。
(2) 彈藥部分，考量120公厘砲塔式迫砲系統，迫砲彈僅能從砲管底部裝填，需於現役之迫砲彈尾端開發定位機構，使彈藥可固定及貼合於砲管底部，俾利擊針順利撞擊底火，完成彈藥擊發任務。
3.綜上，期整合國內產學界機電整合設計能力，朝每分鐘6發（含）以上之射速，進行120公厘後裝填迫擊砲彈藥定位及半自動進彈機構設計，再搭配本廠於112至118年度成立120公厘砲塔式迫砲砲身總成試製等8項研製案，實施火砲及彈藥等各次系統試製作業，最終完成120公厘砲塔式迫砲系統研製任務。</td></tr>
</table>

二	計畫目的	1.火砲部分：為提升戰場上火砲的進彈效率，有效運用有限兵力執行各式戰術，當後裝填迫擊砲系統之裝填方式調整為自動進彈時，可減輕官兵之負擔，大幅提升作戰效能，同時可配合載具現有空間，針對進彈機構進行低矮化設計，可減少全系統於戰場上之被彈面積，大幅降低作戰官兵之潛在傷害。 2.彈藥部分：傳統的 120 公厘迫砲彈為砲口裝填、光膛砲管，發射後尾翼穩定的砲彈，是一種大角度的曲射武器，惟考量 120 公厘砲塔式迫砲系統，迫砲彈僅能從砲管底部裝填，需於現役之迫砲彈尾端開發定位機構，使彈藥可固定及貼合於砲管底部，俾利擊針順利撞擊底火，完成彈藥擊發任務，且不影響原彈藥外彈道飛行軌跡。
三	研究議題	1.火砲部分 (1) 大口徑火砲系統半自動進彈機構設計、機械作動及力學模擬分析。 (2) 結合載具空間完成最佳化運用設計，進行半自動進彈機構設計。 2.彈藥部分 (1) 以現有 120 公厘迫砲彈為基礎，參考戰防彈彈筒設計改念，適合 120 公厘砲塔式迫砲武器系統之迫砲彈定位機構設計。 (2) 建立以軟體執行彈藥模擬分析之能量。
四	運用構想	1.火砲部分：透過半自動進彈機構提升進彈效率，降低官兵之負擔，並建立半自動進彈機構設計能量，可於後續武器系統設計時，依據各載具不同之空間配置，進行機構規劃，以搭配目前載具武器低矮化之趨勢，減少戰場上之被彈面積，提升官兵之存活率。 2.彈藥部分：相較傳統 120 公厘迫砲系統採砲口人工裝填，惟考量 120 公厘砲塔式迫砲系統，迫砲彈僅能從砲管底部裝填，完成彈藥定位機構開發後，可使彈藥可固定及貼合於砲管底部，俾利擊針順利撞擊底火，完成彈藥擊發任務。 3.綜上，完成後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計後，其研製成果將運用於本廠 112 至 118 年度成立之 120 公厘砲塔式迫砲砲身總成試製等 8 項研製案，實施火砲及彈藥等各次系統試製作業，完成新式 120 公厘砲塔式迫砲系統研製任務。
五	技術備便水準評估	1.火砲部分：目前大口徑火砲系統之進彈方式均採人工操作，僅參據國外武器系統情蒐成果，完成初部概念構想，針對後裝填迫擊砲半自動進彈機構技術備便水準僅達 TRL1。 2.彈藥部分：現行迫擊砲進彈方式均採前裝填操作，僅參據國外砲塔式迫砲彈情蒐成果，完成初部概念構想，針對彈藥定位機構技術備便水準僅達 TRL1。 3.期藉由本計畫，整合國內產學界機電整合設計能力，完成後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構細部工程設計、機械作動及力學模擬分析，最終於分析軟體上檢視其機械作動無干涉情事，可自動執行進彈作業，預期結案後技術備便水準可達 TRL3。

<table>
<tr>
<td>六</td>
<td>期程
工項</td>
<td>1.本廠：
(1) 112 年：將現役迫砲彈外觀尺寸提供學界單位進行機構設計。
(2) 113 年：審查學界單位後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構細部工程設計、機械作動及力學模擬分析是否符合後續全系統試製需求。
2.學界單位：
(1) 112 年：進行文獻蒐整及探討，參據世界各國後裝填迫擊砲系統及相關彈藥，完成後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構概念設計。
(2) 113 年：依據 112 年後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計概念完成細部工程設計、購料規格訂定，以及機械作動與力學模擬分析。</td>
</tr>
<tr>
<td>七</td>
<td>成本
分析</td>
<td>一、申請補助經費：　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><td>執行年次
補助項目</td><td>第一年
(112年)</td><td>第二年
(113年)</td><td>全程總經費</td></tr>
<tr><td>業務費
(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a. 研究人力費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b. 材料、耗材及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c. 差旅費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
二、研究人力費　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><td>類別</td><td>金額</td><td>請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）及計算方式</td></tr>
<tr><td>主持人
計畫主持費</td><td></td><td>120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計與模擬分析之規劃與統籌，以及各分項研究之整合</td></tr>
<tr><td>共同主持人
計畫主持費</td><td></td><td>120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計與模擬分析之計畫執行及進度掌握</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由博士生擔任，共計3名
文獻蒐集及整理，120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構模擬分析</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由碩士生擔任，共計6名
文獻蒐集及整理，120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計</td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="5">七</td><td rowspan="5">成本分析</td><td colspan="8">三、研究設備費</td></tr>
<tr><td rowspan="2">類別</td><td rowspan="2">設備名稱
(中文/英文)</td><td rowspan="2">說明</td><td rowspan="2">數量</td><td rowspan="2">單價(元)</td><td rowspan="2">金額(元)</td><td colspan="2">經費來源</td></tr>
<tr><td>本部補助經費需求</td><td>提供配合款之機構名稱及金額</td></tr>
<tr><td>機械設備</td><td>機構設計裝置及軟體</td><td>120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>機械設備</td><td>機械結構模擬分析裝置及軟體</td><td>120公厘後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構模擬分析</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td colspan="8">1.完成後裝填迫擊砲半自動進彈及彈藥定位機構設計後，其研製成果將運用於本廠 112 至 118 年度成立之 120 公厘砲塔式迫砲砲身總成試製等 8 項研製案，實施火砲及彈藥等各次系統試製作業，完成新式 120 公厘砲塔式迫砲系統研製任務。
2.另可提升本廠機電整合系統機構設計經驗，並將本案設計經驗運用於各式武器及彈藥系統上，結合載具空間最佳化運用設計，逐步建立新式武器機電整合機構設計與產製能量。</td></tr>
</table>

國防部軍備局生產製造中心第二0五廠

112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：超高分子量聚乙烯纖維材料開發	計畫期程：112-113 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：材料工程
提案單位：第二0五廠　　聯絡人：潘旭輝工程師	電話：07-3346141#757444

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	1. 現代國防用防護材料種類繁多且發展迅速，已逐漸從單純的防禦性能朝向功能性、靈活性和經濟性並存的方向發展，目前主要使用之材料主要有二類：芳香族聚醯胺纖維(Aramid 如 Kevlar®)、超高分子量聚乙烯纖維(UHMWPE)，其機械性質如圖 1。 圖 1　各種國防用防護纖維材料之機械性質 2. 然而芳香族聚醯胺纖維如 Kevlar 材料之物性，易受光線與濕氣所影響，曝露在 UV 光下 6 個月，強力即折損約 50%，因此，其纖維或成品的保存均需有嚴格之要求；超高分子量聚乙烯纖維(UHMWPE)，為目前世界上強度最高、比重最輕的纖維材料，其比強度相較於 Kevlar 高 35%，較碳纖維高 50%；比衝擊吸收能量是 Kevlar 纖維的 2.6 倍、碳纖維 3 倍；比彈擊載荷值 U/P 是鋼的 10 倍；重量則較 Kevlar 複合材料輕 20%、較碳纖維強化聚合物(Carbon Fiber Reinforced Polmer，CFRP)輕 30%。 由於 UHMWPE 纖維具有輕量及耐化學腐蝕的優點如表 1，且抗衝擊性能好，防彈性能佳，比能量吸收大，目前 UHMWPE 纖維已成為全球國防軍需防護裝備領域中最主要之材料，已被廣泛應用於生產防彈衣、防穿刺衣、防彈盾牌、降落傘、防彈鋼盔、頭盔及防彈裝甲等鋼

性板材和柔性防彈材料之應用。

表 1　超高分子量聚乙烯纖維(UHMWPE)對各式化學品之強力變化

化學溶劑種類	UHMW-PE(Spectra®)	Aramid(Kevlar®)
海水	100%	100%
煤油	100%	100%
汽油	100%	93%
冰醋酸	100%	82%
5% 磷酸	100%	79%
四氯乙烯	100%	75%
甲苯	100%	72%
29% 氫氧化銨	100%	70%
5M 氫氧化鈉	100%	42%
1M 鹽酸	100%	40%
Clorox	91%	0%

3. 自從 2001 年 911 攻擊事件、2003 年伊拉克戰爭、2006 年索馬利亞戰事及 2011 年利比亞內戰等國際戰事爆發後，再加上中國大陸之急速崛起，並將 UHMWPE 列入十二五重點計畫，逐漸擴充其產製能力如表 2；美國經濟與安全陷入困境，國際局勢動盪與社會安全等問題逐年快速上升，世界各國為了維護國家安全、經濟與因應全球的反恐戰爭，對於 UHMWPE 纖維之需求量急速增加，形成纖維原料供不應求的局面。 2018 年全球超高分子量聚乙烯纖維年需求量超過 5 萬噸，並以每年 20%的增速增長，預計全球市場規模達到新台幣 460 億元。 然而，目前超高分子量聚乙烯纖維之全球產能僅有 3.58 萬噸，市場處於供不應求之下，導致國際價格已攀升五成以上。

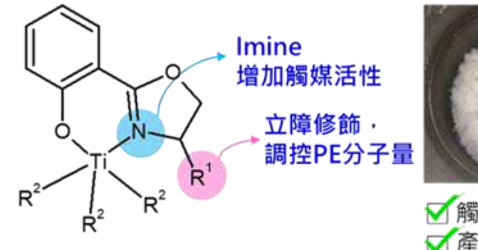
表 2　中國大陸之 UHMWPE 產製現況

中國大陸 UHMWPE 纖維主要生產商情況			
生產商	產能(公噸/年)	製程	產品名(品牌)
湖南中泰	1,500	濕式紡絲	ZTX
寧波大成	1,800	濕式紡絲	DC
北京同益中	2,000	濕式紡絲	孚泰
北京威亞	1,000	濕式紡絲	特毅綸
山東愛地	5,000	濕式紡絲	特力夫
江蘇九九久	3,000	濕式紡絲	TM
儀征化纖	2,300	乾式紡絲	立綸
江蘇鏘尼瑪	1,000	濕式紡絲	JF

4. 全世界目前具有高強力 UHMWPE 纖維生產能力之製造商，僅限於荷蘭 DSM、美國 Honeywell、日本 Toyobo 及中國大陸等四個國

		家。其中荷蘭 DSM 產能 6,000 噸，美國 Honeywell 產能 3,000 噸，日本 Toyobo 產能 3,200 噸，而中國大陸目前具千噸級以上 UHMWPE 纖維之生產商已發展至近 10 家，總產能約 2.36 萬噸，占全球總產能 66%。據 2018 年國際市場調查報告顯示，超高分子量聚乙烯纖維之全球需求量逐年遞增，預計 2025 年全球年需求量將逾 10 萬噸。 5. 超高分子量聚乙烯纖維為全球軍事防護之關鍵性戰略物資，而國內目前僅有下游之織物複合/膠合成型技術，纖維原料端悉數皆仰賴進口，中國大陸掌握著近 70%之全球總產能，荷蘭、美國及日本等國之產能已是望塵莫及，未來進口更將是舉步維艱。值此推動國防先進科技研究之際，為免除戰備防護未來關鍵性原料受制於國外，檢討積極投入上游之材料合成、中游之纖維紡製，建立 UHMWPE 超高分子量聚乙烯纖維技術之等自主化國造技術。
二	計畫目的	為避免國防用防護關鍵性材料長期受制於國外進口，進而實現超高分子量聚乙烯纖維材料國防自主，檢討開發超高分子量聚乙烯纖維原料合成及紡織技術完整建立，補齊國內原料端關鍵技術缺口，建立系統化國防自主軍用防護材料技術，以「質量輕、成本低、時效快及使用壽命長」之國防用防護材料為最終研製目標，應用領域如圖 4。 圖 4　UHMWPE 纖維主要應用領域
三	研究議題	超高分子量聚乙烯原料合成技術 藉由聚合觸媒設計及其合成，開發不同分子量規格之超高分子量聚乙烯材料，並分析其化性、物性等與國外商品如 Dyneema 等材料之相關性質比較，規劃如下： 1. 超高分子量聚乙烯觸媒合成技術開發。

新穎觸媒設計





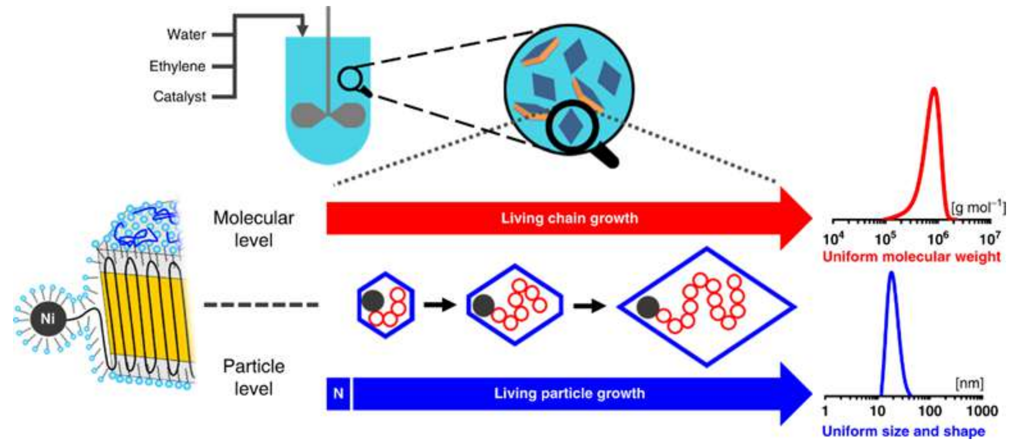
✓觸媒高活性
✓產物不沾黏反應器

設計重點

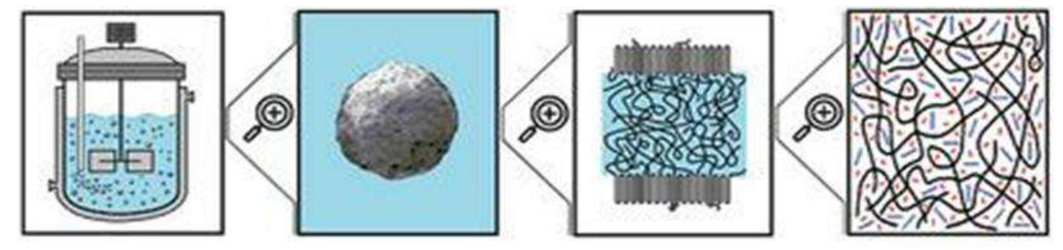
1.**立體效應**：控制Ligand配位基的立體空間，使單體進入速率快於PE鏈的 β- Hydrogen elimination。

2.**電子效應**：Ligand配位基選擇性加入適當的推電子官能基，增加活性中心金屬的電子密度，減少β- Methyl elimination的機會。

2.　超高分子量聚乙烯分子量調控技術開發。



3.　超高分子量聚乙烯泥漿製程技術開發



超高分子量聚乙烯纖維紡製技術

藉由開發實驗級新穎凝膠紡絲、冷凝與高倍率延伸等設備，建立超高分子量聚乙烯凝膠紡液黏度、冷凝、萃取、乾燥、不同延伸倍率等加工條件，製備實驗室級高強力聚乙烯纖維，規劃如下：

1.　新型凝膠紡絲及延伸設備設計組建
2.　超高分子量聚乙烯纖維凝膠紡絲技術開發
3.　超高分子量聚乙烯纖維多道延伸技術開發

<table>
<tr><td></td><td></td><td>國防自主高強力聚乙烯纖維材料開發
高強力聚乙烯原料合成技術
高強力聚乙烯觸媒合成技術開發
高強力聚乙烯分子量調控技術開發
高強力聚乙烯漿泥製程技術開發
高強力聚乙烯纖維紡製技術
高強力聚乙烯纖維紡製技術建構
新型凝膠紡絲及延伸設備設計組建
高強力聚乙烯纖維凝膠紡絲技術開發
高強力聚乙烯纖維多道延伸技術開發</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本案計畫之開發成果初步規劃可於以下幾點進行發展與應用：
1. 防彈頭盔用關鍵纖維材料。
2. 防彈衣或背心用關鍵纖維材料。
3. 戰術背包、背心用關鍵纖維材料。
4. 製成各類防刺、防割織物用關鍵纖維材料。
5. 製作箱體的防爆內襯用關鍵纖維。
6. 高強度輕量化纜繩用關鍵纖維材料。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>檢附 TRL 評估表（如附件）。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>超高分子量聚乙烯原料合成技術
<table>
<tr><th>第一年 (112 年)</th><th>第二年 (113 年)</th></tr>
<tr><td>泥漿式乙烯高壓聚合設備組裝</td><td>聚乙烯分子量提升增加纖維強度</td></tr>
<tr><td>高效聚合觸媒設計及其製備</td><td>共單體引入增強纖維抗蠕變性</td></tr>
<tr><td>觸媒用量配比調控</td><td>聚合觸媒活性提升增加產能</td></tr>
</table>
超高分子量聚乙烯纖維紡製技術
<table>
<tr><th>第一年 (112 年)</th><th>第二年 (113 年)</th></tr>
<tr><td>新型凝膠紡絲設備設計組建</td><td>多道延伸設備羅拉改裝</td></tr>
<tr><td>分子膨潤最適化溶劑調控</td><td>複合分子量聚乙烯膠體調控</td></tr>
<tr><td>分子解纏膠體配比調控</td><td>聚乙烯膠體配比濃度增進</td></tr>
<tr><td>纖維固化萃取及型態調控</td><td>聚乙烯纖維延伸倍率提升</td></tr>
</table>
1.</td></tr>
<tr><td>七</td><td>成本分析</td><td>成本分析表
<table>
<tr><th>(仟元)</th><th>112 年</th><th>113 年</th><th>總經費</th></tr>
<tr><td>業務費</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
</table>

		(a+b+c)			
		a.研究人力費			
		b.材料、耗材及雜項費用			
		c.差旅費			
		研究設備費			
		管理費(10%)			
		小計			

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍**及計算方式**
主持人 計畫主持費		本案開發研究之規劃與統籌，以及UHMWPE合成技術開發
共同主持人 計畫主持費		系統整合與計畫執行，以及UHMWPE纖維抽絲規劃與設計
專任研究 工程師		先進觸媒合成高強力聚乙烯原料、高強力聚乙烯纖維紡製，並解決研發過程之問題
合計		

八	預期成果	1. 完成建立高強力聚乙烯原料合成及高強力聚乙烯纖維紡製等二項關鍵基盤技術。 2. 完成自主化合成高強力聚乙烯材料，分子量達 3 百萬以上 ($Mv \geq 3{,}000{,}000$)。 3. 完成自主化紡製高強力聚乙烯纖維，纖維拉伸強度≥ 25 g/den。 4. 產出高強力聚乙烯織物原型品≥ 1 米。

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	高強力聚乙烯原料合成技術	3	經實驗室級小量合成之高強力聚乙烯原料分子量≥150 萬(Mv)	4~5	■ 觸媒活性偏低，可能影響聚合反應時間增加 50%
2	高強力聚乙烯纖維紡製技術	3	經實驗室級可小量紡製高強力聚乙烯纖維，其強力≥ 15 g/d	4~5	■ 凝膠均勻度控制不當，可能影響纖維後道延伸率降低 30%
註：突破式國防科技研究計畫(全期計畫金額達 1,000 萬元以上者)請填註本表，並依本部「國防科技發展教則」評估本案技術能量。					

高強力聚乙烯纖維紡製技術開發



TRL 3
- 纖維束 ≥ 12
- 拉伸強度 ≥ 20 g/den
- 伸長率 ≥ 2%

TRL 4~5
- 纖維束 ≥ 12
- 拉伸強度 ≥ 25 g/den
- 伸長率 ≥ 3%



高強力聚乙烯原料合成技術

TRL 3
- 分子量(Mv) ≥ 2百萬
- Catalyst Activity ≥ 10,000 (g PE/g Cat)

TRL 4~5
- 分子量(Mv) ≥ 3百萬
- 共單體含量 ≥ 1%
- Catalyst Activity ≥ 20,000 (g PE/g Cat)

112　　113

國防部軍備局生產製造中心第二0五廠
112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：各口徑底火暨發射藥傳火鏈模擬系統開發</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：化學工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：第二0五廠　　聯絡人：潘旭輝工程師　　電話：07-3346141#757444</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1. 本案係依國防部頒「中程施政規劃」「貳、施政重點一、現有施政重點及相關計畫執行成效檢討（四）完善軍備機制 2、增進國內科研發展(2)學合計畫 A、『學合計畫結合 10 年建軍構想及 5 年兵力整建計畫，以高頻微波技術、無人飛行載具、衛星通訊及航太技術、匿蹤技術及節能減碳(含替代能源)等 10 項重點。』
2. 遠程精確打擊、殺(毀)傷力強和快速反應是現代戰爭對武器系統的更高要求，因此低膛壓、高初速及高裝填密度將是其未來武器發展趨勢。其中發射藥為各類武器完成彈頭投射的重要能源物質，其科學與技術的發展與武器系統的發展密切相關並相互促進。火炮的內彈道起始於底火作用，接續傳火、點火發射藥及發射藥燃燒，在初始階段的點火過程是內彈道最複雜的階段，過大的壓力波可能造成發射藥粒破碎形成突升的膛壓。
3. 彈頭自砲管射出之過程中，發射藥由固體變為氣體，氣體膨脹作功，使彈頭獲得砲口初速(砲口動能)的歷程，過程歷時短暫，變化劇烈，其作用十分複雜，涉及化學變化、燃速控制、氣態關係、能量轉換、熱傳導、動力學及材料力學等領域，以內彈道演算軟體開發，可擺脫嘗試錯誤的實驗法。
4. 傳統發射藥開發係藉由技資蒐整及經驗法則試製，再透過爆彈儀與標準藥品進行比對，須經過多次配方及藥型調整，始能達成，為避免試誤法及提昇研發效率，檢討開發底火暨發射藥傳火鏈模擬系統，並整合現有爆彈儀測試設備，將摸擬技資及爆彈儀測試結果相互對應，俾利掌握發射藥研製關鍵配方及尺寸。
5. 整合上揭二種技術相互搭配，運用大數據分析，再搭配研製設備精進，相較於傳統發射藥開發，有更安全、更便利及更有效的研發特性，透過摸擬技資及爆彈儀測試的快速資訊共享，定可大幅提升砲彈用底火與發射藥研發成功率。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">1. 目前雲豹甲車配賦 Mk 44 巨蝮二式鏈炮（Mk 44 Bushmaster II），其使用的 30 mm ×173 mm 砲彈其中使用 APFSDS-T 發射藥，亦屬於不含硝化甘油之硝胺類單基改質設藥，屬於低易損高能性發射藥的一種。另外，我國新一代主力戰車 M1A2T 配賦 M256A1 120</td></tr>
</table>

[鍵入文字]

		公厘口徑滑膛砲，並預劃採購 HEAT-MP-T、APFSDS-T、TPCSDS-T2、IM HE-T、Canister 及 TPMP-T1 等多項彈種，彈種使用發射藥主要為 M14、JA2 Propellant，組成成分均已充分揭露於相關文獻資料屬於雙基發射藥，上述發射藥均非本廠現行產製品項。因此，發展新一代武器裝備發射藥技術實刻不容緩。 2. 為強化理論基礎，擬由透過程式模擬及實際操作，結合理論與實務，蒐整資訊，建立完整發射藥設計製造能量。規劃委外辦理發射藥設計專業訓練，以兩階段方式實施。第一階段為教育訓練，第二階段為實務操作。 3. 本計畫規劃以現有發射藥為基礎開發軟體計算模式，驗證軟體計算結果之可靠度，以建立一套可用之底火暨發射藥傳火鏈模擬系統，用於未來彈藥所需發射藥開發之參考。
三	研究議題	**112 年** 1. 文獻分析探討。 2. 發射藥傳火鏈燃燒特性參數資料量測蒐整。 3. 辦理發射藥設計專業訓練。 4. 以 NASA CEAgui 或其他軟體進行 M14、JA2 型發射藥配方的燃燒性能模擬，計算其爆熱值，評估爆熱值近似之配方製備實體發射藥。 5. 建立底火、傳火藥及發射藥(M14、JA2)全火藥鏈燃燒產物成分、壓力、燃燒熱和溫度等參數模擬計算技術。 **113 年** 1. 使用 IBHVG25 或 PRODAS V3.5 等專業軟體或一般商業軟體編碼計算，完成內彈道模擬計算。 2. 依據文獻蒐集之新式彈藥發射藥初速，建立模擬計算模式。 3. 依據文獻蒐集之新式彈藥發射藥配方，進行試製。 4. 依據本廠提供之發射藥完成內彈道模擬計算模式驗證，建立內彈道模擬計算模式。
四	運用構想	國軍各式發射藥為本廠責任產品，未來 30mm 鏈砲及 120mm 戰車砲所需彈藥均以自製為任務導向，對於新式發射藥將有大量的需求。 1. 藉由本研究計畫建立發射藥配方及性能參數資料庫，在未來獲得各式發射藥生產規格時，可立即比對資料庫數據進行試製，回饋生產製程迅速建立 30mm 鏈砲及 120mm 戰車砲等各式發射藥生產能量。 2. 發射藥配方及性能參數可做為各式傳統雙和三基發射藥替代參考，逐漸減少/停止硝化硝化甘油(NG Free)的使用。 3. 建立發射藥內彈道模擬計算模式，配合未來彈藥特性參數，用以計算發射藥配方成份運用於各彈種全火藥鏈設計，縮短設計、測試、回饋修正研發期程。

五	技術備便水準評估	檢附 TRL 評估表（如附件）。
六	期程工項	112 年

112 年

月份 / 項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
文獻分析探討												
發射藥傳火鏈燃燒特性參數資料量測蒐整												
委外辦理發射藥設計專業訓練												
發射藥性能模擬計算爆熱值												
全火藥鏈燃燒參數模擬計算												

113 年

月份 / 項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
使用專業軟體或一般商業軟體編碼內彈道模擬計算												
依新式彈藥發射藥初速，建立模擬計算模式												
依新式彈藥發射藥配方，進行試製												
發射藥燃燒參數模擬計算技術												
內彈道模擬計算驗證並回饋修正												
關鍵技術提供												

七　成本分析

成本分析表

(仟元)	112 年	113 年
業務費 (a+b+c)		
a.研究人力費		
b.材料、耗材及雜項費用		
c.差旅費		
研究設備費		
管理費(10%)		
小計		

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍**及計算方式**
主持人 計畫主持費		本案開發研究之規劃與統籌，以及內彈道模擬計算驗證開發
共同主持人 計畫主持費		系統整合與計畫執行，以及全火藥鏈燃燒參數模擬計算
專任軟體 工程師		軟體設計與結果統整，並解決軟體過程之問題
兼任助理		由碩士生擔任，共計2名 文獻蒐集及整理，協助實驗及檢測分析
合計		

八　預期成果

1. 運用大數據分析，建立底火、傳火藥及發射藥等傳火燃燒模擬系統，再搭配研爆彈儀測試及底火檢測設備驗證回饋，完備砲彈用底火、傳火藥與發射藥資料庫及模擬準確性。
2. 完成發射藥研發設計人員專業教育訓練。
3. 建立發射藥模擬計算模式，應用於火砲發射藥設計研發。

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	傳火燃燒模擬系統	TRL1	藉由大數據分析及模擬程式整合，並整合爆彈儀測試及底火檢測驗證回饋。	TRL6	中風險
2	發射藥模擬計算模式	TRL1	依據現有發射藥特性參數驗證模擬計算模式之可靠度，以達成節省發射藥研發設計時間。	TRL6	中風險

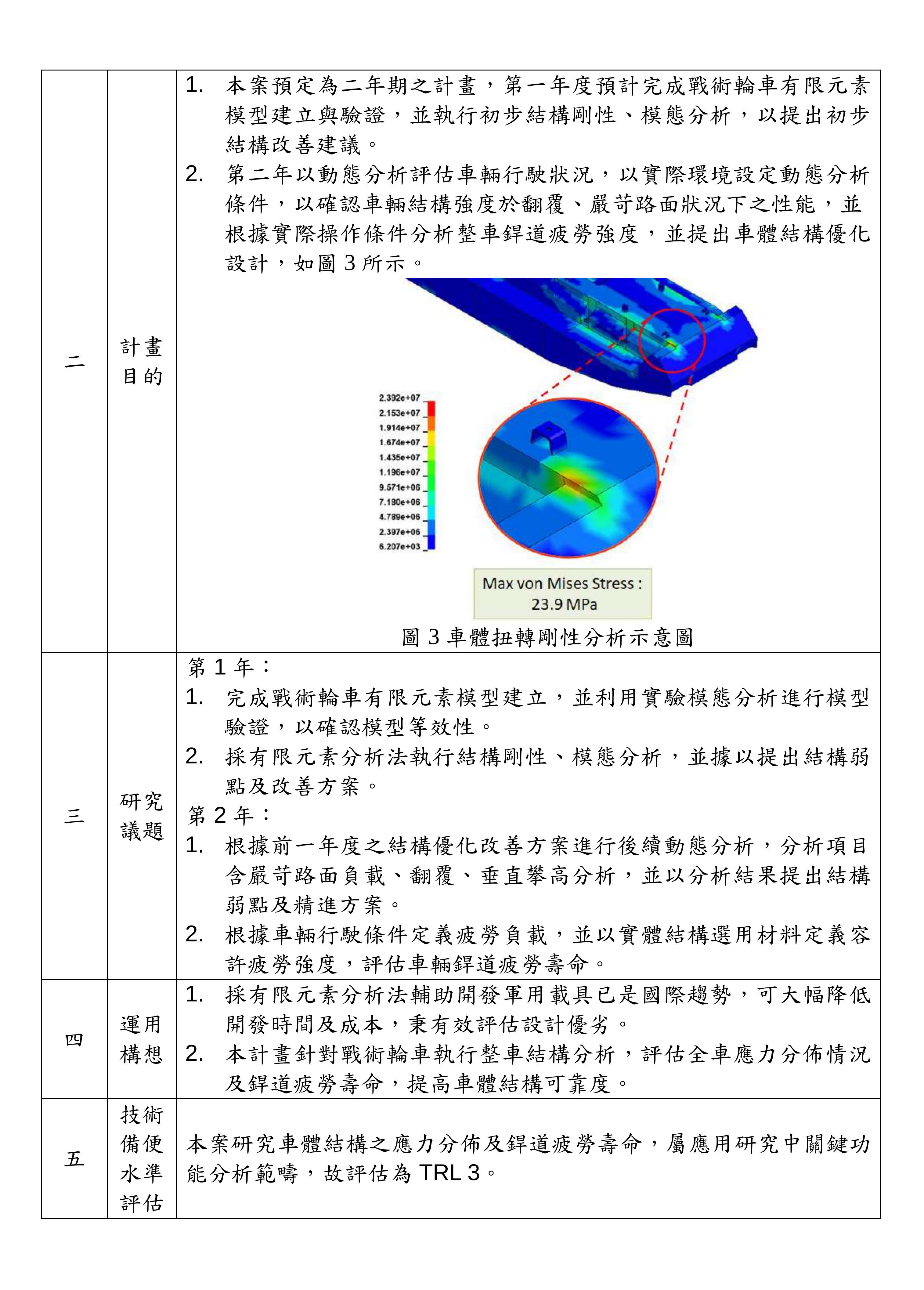
註：突破式國防科技研究計畫(全期計畫金額達 1,000 萬元以上者)請填註本表，並依本部「國防科技發展教則」評估本案技術能量。

[鍵入文字]

國防部軍備局 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：輕型車輛車體結構模擬分析	計畫期程：112-113 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：機械應力
提案單位：生製中心第 209 廠 聯絡人：戴子升中尉 電話：049-2781683#549349	

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	1. 本廠規劃開發「4x4 戰術輪車」，其具高度機動力、火力、輕裝甲防護力、靈活通信之特性，可快速部署至戰場，進而能有效執行搜索、偵察、警戒與掩護任務。 2. 案內車型係本廠首次開發，考量車身本體實體研製工程耗時長、成本高，故本案採用「有限元素分析法」執行相關設計與模擬分析，透過輸入材料機械性質、設定運動邊界條件及給予外部應力，經由計算得知結構受力時所產生之動態特性，如圖 1，以確保車體結構在各種動態負載下維持性能目標，俾利降低實體研製成果不符需求之風險。 圖 1 結構受力之模擬分析示意圖 3. 近年來電腦運算能力大幅進步，商用分析軟體也逐步成長，多數工程開發皆仰賴有限元素分析法進行設計，可大幅降低開發成本及時間，為設計開發不可或缺的工具之一，如圖 2。 圖 2 軍用悍馬車性能模擬分析示意圖

二	計畫目的	1. 本案預定為二年期之計畫，第一年度預計完成戰術輪車有限元素模型建立與驗證，並執行初步結構剛性、模態分析，以提出初步結構改善建議。 2. 第二年以動態分析評估車輛行駛狀況，以實際環境設定動態分析條件，以確認車輛結構強度於翻覆、嚴苛路面狀況下之性能，並根據實際操作條件分析整車銲道疲勞強度，並提出車體結構優化設計，如圖 3 所示。  圖 3 車體扭轉剛性分析示意圖
三	研究議題	第 1 年： 1. 完成戰術輪車有限元素模型建立，並利用實驗模態分析進行模型驗證，以確認模型等效性。 2. 採有限元素分析法執行結構剛性、模態分析，並據以提出結構弱點及改善方案。 第 2 年： 1. 根據前一年度之結構優化改善方案進行後續動態分析，分析項目含嚴苛路面負載、翻覆、垂直攀高分析，並以分析結果提出結構弱點及精進方案。 2. 根據車輛行駛條件定義疲勞負載，並以實體結構選用材料定義容許疲勞強度，評估車輛銲道疲勞壽命。
四	運用構想	1. 採有限元素分析法輔助開發軍用載具已是國際趨勢，可大幅降低開發時間及成本，兼有效評估設計優劣。 2. 本計畫針對戰術輪車執行整車結構分析，評估全車應力分佈情況及銲道疲勞壽命，提高車體結構可靠度。
五	技術備便水準評估	本案研究車體結構之應力分佈及銲道疲勞壽命，屬應用研究中關鍵功能分析範疇，故評估為 TRL 3。

六　期程工項

112 年：
1. 戰術輪車有限元素模型建立。
2. 戰術輪車有限元素模型等效性驗證。
3. 戰術輪車有限元素模型結構剛性、模態分析。

113 年：
1. 車體結構嚴苛路面負載分析。
2. 車體結構翻覆與垂直攀高分析。
3. 車體結構銲道疲勞壽命分析。

七　成本分析

一、申請補助經費：　　金額單位：新臺幣元

執行年次 補助項目	112年	113年	全程總經費
業務費 (a+b+c)			
a.研究人力費			
b. 材料、耗材及雜項費用			
c.差旅費			
研究設備費			
管理費			
合計			

二、研究人力費：　　金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		輕型車輛車體結構模擬分析之規劃與統籌
兼任助理		由碩士生擔任，共計1名 有限元素模型建立、量測模組開發，及各分項測試驗證
兼任助理		由大專士生擔任，共計1名 文獻蒐集及整理，協助實驗及模擬分析
合計		

八　預期成果

1. 預期能完整評估全車之結構強度，及利用有限元素分析法評估車輛各項性能，並提出改善方案。
2. 預期針對戰術輪車設計專用之疲勞負載條件及疲勞循環次數相關規範，並提供銲接設計建議，完成全車結構銲道疲勞壽命評估。

國防部軍備局 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：導引空投傘具之主傘模組開發	計畫期程：112-114 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：控制技術
提案單位：生製中心第 209 廠 聯絡人：賴健智中校	電話：049-2781683#549370

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	1. 本廠規劃開發「導引空投傘具之主傘模組」，除了可適時提供作戰部隊必需作戰物資及維持戰力外，在於人道救災方面可即時投射救援物資，降低損害。 2. 傳統空投系統採用普通降落傘，因空投精度較差，集群投放後貨物散佈較大且難以快速收集；另外，國內空投作業(如圖 1)均採低空飛抵空投場上方，基於特定高度、天候、風向、風速、能見度等環境因素考量，獲得「計算空投點」而遂行空投作業，鑒於多數補給空投軍機之威脅來自於地面敵火，將使我軍無法在指定時空下獲得急迫之補給需求外，亦造成任務飛機及空勤人員安危，極大的影響貨物和運輸機的生存能力。 圖 1、傳統圓型降落傘 3. 精準空投主要係利用「定位系統」配合「自動控制裝置」來操作傘具(如圖 2)，可遠距投放減少任務機被發現的機率，降低空投運輸過程中，遭防空火力打擊的危險，以達到精準空投作業。 圖 2、精準定位空投

		4. 目前國軍軍備局第 209 廠已具備研發及生產各式降落傘之能力，依研製需求開發可操作之投物傘，經評估，翼形降落傘因尾端區域，形成類機翼的襟翼放下效果，故可依風向操控傘翼，以準確導引至著陸地點。
二	計畫目的	本案預定為三年期之計畫，各年度執行內容如下： 1. 第一年：預計完成傘具有限元素模型建立與驗證，並執行傘具控制模擬驗證，模擬計算拉力、傘具受力變化分析及三維空間定位資訊運用(如圖 3)。 圖 3 開傘受力 (G) 參數搜整 2. 第二年 (1)設計量測模組，並結合衛星定位資訊，模擬在不同載重和風速下翼傘的動力特性，其落速、滑行速度、穩定數據。 (2)樣傘設計評估，針對導引空投傘具之主傘附屬系統如引張系統、傘包、吊掛裝置等裝置評估分析。 3. 第三年： (1)模擬結果與空投試驗之數據相互比較，建立資料庫。 (2)驗證引張系統設計影響開傘作動姿態及及吊掛裝置計算吊繩承載力量。
三	研究議題	1. 研究翼形傘具結構分析 依據傘具構型及負荷重量大小，在任何振盪、偏擺狀況，可保持操作順暢。 2. 量測模組系統開發並結合衛星定位資訊 實施翼型傘模擬分析作業，針對下降速度、滑降比等性能實施模擬驗證。 3. 空投驗證 (1) 進行參數比對及驗證，針對傘具構型提供精進方案及最佳化分析，並作為後續研發「導引操控系統」參數。 (2) 分析開傘震動力影響吊掛承載力，作為後續傘幅面積及載重計算，另研析引張系統及整摺方式影響傘具開傘狀態。
四	運用構想	1. 採有限元素分析法輔助開發，可大幅降低開發時間及成本，秉有效評估設計優劣。 2. 本計畫針對精準空投設備實施設計分析，評估可行性規劃，藉以獲得相關參數作為後續產品開發之依據。

<table>
<tr><td>五</td><td>技術
備便
水準
評估</td><td>本案研究傘具自動控制系統模擬應用，屬應用研究中關鍵功能分析範疇，故評估為 TRL 5。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程
工項</td><td>112 年：
傘具有限元素模型建立與驗證，並結合傘具拉力、受力變化分析及三維空間定位資訊運用。
113 年：
(1)結合衛星定位資訊，完成量測模組開發。
(2)完成樣傘設計評估(如引張系統、傘包、吊掛裝置等裝置)。
114 年：
(1)執行空投驗證分析，建立資料庫。
(2)針對滑降比、下降速度及穩定度結果，完成傘具研改精進分析。</td></tr>
<tr><td>七</td><td>成本
分析</td><td>一、申請補助經費：　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><th>執行年次
補助項目</th><th>112年</th><th>113年</th><th>114年</th><th>全程總經費</th></tr>
<tr><td>業務費
(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a.研究人力費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b.材料、耗材及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c.差旅費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
二、研究人力費：　金額單位：新臺幣元
<table>
<tr><th>類別</th><th>金額</th><th>請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）及計算方式</th></tr>
<tr><td>主持人
計畫主持費</td><td></td><td>「導引空投傘具之主傘模組」開發研究之規劃與統籌，以及各分項研究之整合。</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由博士生擔任，共計1名
有限元素模型建立、量測模組開發，及各分項測試驗證。</td></tr>
<tr><td>兼任助理</td><td></td><td>由碩士生擔任，共計1名
文獻蒐集及整理，協助實驗執行及檢測分析。</td></tr>
<tr><td>合計</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期
成果</td><td>1. 空投傘量測模組(含 GPS)開發及翼形傘設計技術。
2. 研改可整合精準導控系統之新式物資空投傘構型。</td></tr>
</table>

國防部軍備局112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：輪型甲車動力系統即時性能診斷技術開發與品管模型建立</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：控制技術</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：生製中心第209廠 聯絡人：施秉劭上尉 電話：049-2781683#549423</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">八輪甲車之動力包件為引擎、變速箱及冷卻系統結合而成(如圖1)，藉由配置引擎與變速箱之控制模組進行全系統控制，該系統參數複雜且連動性高，一旦發生失效狀況僅能以診斷電腦錯誤碼判定故障原因，欠缺即時預警機制，致使戰場操作風險增加。

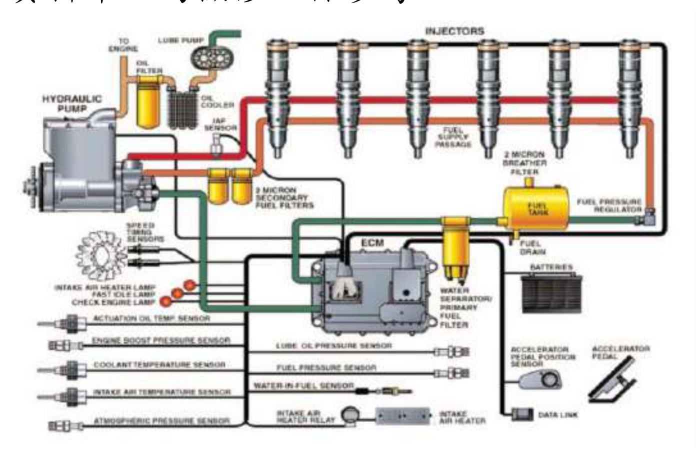
圖1 動力包件
由於控制模組(如圖2)可控制引擎周期燃油量、控制點火時間、可變閥門時間、渦輪增壓器等，計畫目的在利用演算法機制)進行大數據分析建構各參數間離散模型，建立失效即時預測與診斷機制，並完成相關動態數據資料庫以為檢修品保參考。


圖2 控制模組</td></tr>
</table>

二	計畫目的	動力系統良窳攸關車輛機動性，據以發展之各項性能規格更決定全車運動展現，故制訂動力系統規格當為衍生車型概念設計階段首要工作，而利用大數據分析、識別引擎參數因果關聯性，發展全系統性能診斷技術，不僅可以驗證動力輸出/轉換性能，亦可因應衍生車型發展而提供不同動力輸出條件，作為研產單位系統選用參考。另因應現階段動力系統修護品質與成本效益提升，本計畫預期可依據前述性能診斷技術建立一種動態測試品管檢驗模式，達到自主檢診能量方能降低後勤成本。
三	研究議題	計畫擬以二年為研究期程： (一)第一年 1. 完成動力系統地面測試實驗架構。 2. 完成動力系統（引擎、變速箱）測試與時序訊號分析。 3. 發展演算法機制建模工具與圖視化使用介面。 4. 系統地面測試單輸入/單輸出診斷模型建立與驗證。 5. 系統地面測試多輸入/單輸出診斷模型建立與驗證。 6. 完成動力系統地面測試標準（正常操作）與失效（故障）模型及其差異分析。 (二)第二年 1. 完成實車各路況（平鋪、越野、直線加速/減速、正/測爬坡、迴轉）測試實驗架構。 2. 完成實車各路況測試與時序訊號分析。 3. 實車各路況單輸入/單輸出診斷模型建立與驗證。 4. 實車各路況多輸入/單輸出診斷模型建立與驗證。 5. 完成實車各路況標準（正常操作）與失效（故障）模型及其差異分析。 6. 彙整計畫成果建置專家知識資料庫
四	運用構想	本計畫涵蓋實驗量測、參數關聯性分析與診斷模式建立等階段。實驗量測包括動力系統地面與實車動態測試，參數關聯性研究方面則必須基於實驗結果分析各參數間依存度，並據以合理評估其間因果關係、確認關鍵研究參數。模式發展方面則必須應用演算法機制建模工具連結動力系統參數間暫態關係並應用於品管動力系統動態測試檢驗，提出一具備整合診斷與預測引擎參數值之應用策略，達成計畫目的。
五	技術備便水準評估	本案研究動力系統即時性能診斷技術開發，運用於品管動力系統動態測試檢驗與模型建立,屬應用研究中關鍵功能分析範疇,故評估為 TRL 3。

六 期程工項

112 年：

1. 完成動力系統地面測試實驗架構。
2. 完成動力系統（引擎、變速箱）測試與時序訊號分析。
3. 完成動力系統地面測試標準（正常操作）與失效（故障）模型及其差異分析。

113 年：

1. 完成實車各路況（平鋪、越野、直線加速/減速、正/測爬坡、迴轉）測試實驗架構。
2. 完成實車各路況測試與時序訊號分析。
3. 完成實車各路況標準（正常操作）與失效（故障）模型及其差異分析。

七 成本分析

一、申請補助經費：　　　　金額單位：新臺幣元

補助項目＼執行年次	112年	113年	全程總經費
業務費(a+b+c)			
a.研究人力費			
b.材料、耗材及雜項費用			
c.差旅費			
研究設備費			
管理費			
合計			

二、研究人力費：　　　　金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）及計算方式
主持人 計畫主持費		輪型甲車動力系統即時性能診斷技術開發與品管模型建立之規劃與統籌
兼任助理		由博士生擔任，共計1名 量測模組開發，及各分項測試驗證。
兼任助理		由碩士生擔任，共計2名 文獻蒐集及整理，協助實驗及模擬分析
合計		

八 預期成果

1. 完整蒐集動力系統在各種情形下運作狀況，藉由大數據統計結果，可有效利用引擎控制模組提供之參數，提供更良好之補保參考，從而避免動力系統嚴重損傷。
2. 後續更可藉由數據分析，模擬在相同的動力系統架構下，針對不同重量、構型車輛提供良好的動力輸出，期望可藉由統一動力系統，減少部隊補保及訓練需求。

國防部軍備局生產製造中心第二0二廠
112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：自主榴彈減阻助推增程技術之研發	計畫期程：112 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：航太工程
提案單位：第二0二廠　聯絡人：曾楷竣上尉	電話：02-27850271#5325

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	火砲是一種超視距打擊能力的強力基本武器，具備火力大、靈活度高、經濟性佳與通用性良好的特點，無論是作為彈幕射擊或者是高強度的同時彈著集中射擊技術，均可讓敵方暫時或永久失去戰鬥能力，因此火砲的使用持續在戰爭武器中扮演著相當重要的角色。2019 年美國陸軍協會年度會議(AUSA 2019)中，通用動力發表了一款射程達到 40 公里的增程榴彈砲彈，其原理主要是使用彈底火箭發動機助推技術，並使用一未經修改之 155 公厘榴彈砲進行演示，其砲彈飛行過程中所拍到之影像如圖 1 所示，有別於一般砲彈飛行之影像，其底部可以發現一特殊尾流向後方集束噴出，經研判應屬於火箭輔助推進所導致。增程砲彈的展示也意味著美國陸軍對於砲兵使用火砲的重視，以及其對火砲射距性能的需求。除了美國以外，中國對於增程榴彈之開發也是相當重視，經過新聞媒體報導，中國人民解放軍亦宣稱已經使用 122 公厘榴彈砲進行增程研發成功。 圖 1、GM 所研發之增程榴彈 近年來，我國自主國防技術的指導下，建立各軍種自主技術開發能力的需求正受到政府的大力支持，本計畫之研擬正依循我國建立國軍自主設計並且製造增程砲彈之基礎技術能力，以滿足我國砲兵彈藥之需求；並且因應未來針對各種口徑火砲進行增程研發。 回顧過去並針對我國砲彈製造相關能力之檢討主要可區分程幾個面向：其一、對於目前可用推進劑之熱分析資訊不清楚，導致因缺乏基本資訊而無法準確進行電腦輔助工程分析；其二、砲彈之氣動力特性所造成之阻力無法定量與定性分析，以至於無法自主建立減阻與助推之氣動力技術與策略，隨著當今我國航太氣動力技術、電腦資訊系統

		的迅速發展以及國內精密加工之精進，此時此刻進行本計畫之研提正符合目前之需求與發展契機，期能透過本計畫建立未來技術突破之基礎。
二	計畫目的	本計畫擬建構熱分析以及推進劑產氣率分析所需之設備以取得目前習用之推進劑之相關重要數據，搭配自主電腦輔助工程技術分析，建構榴彈底部幾何，搭配單孔或多孔破真空之噴氣技術減少飛行阻力，增加榴彈飛行距離的方法與程序並且進一步評估榴彈底部火箭推進增程之效果優化。
三	研究議題	1.進行現有推進劑之熱分析資訊，包含熱重分析、活化能評估。 2.進行現有推進劑之一維燃燒率與產氣率資料分析。 3.應用電腦輔助工程技術分析榴彈底部幾何構型對榴彈飛行過程之阻力影響。 4.應用電腦輔助工程技術分析榴彈底部單孔排氣破真空對榴彈飛行過程之阻力影響。 5.應用電腦輔助工程技術分析榴彈底部多孔排氣破真空對榴彈飛行過程之阻力影響。 6.應用電腦輔助工程技術增加漸縮漸擴孔成為火箭助推對砲彈飛行助益之評估。
四	運用構想	1.應用本計畫所建構之資訊做為調整榴彈底部幾何，搭配單孔或多孔破真空之噴氣技術減少飛行阻力，增加榴彈飛行距離之策略基礎。 2.應用本計畫所建構之資訊做為調整榴彈底部噴氣技術使之成為具備火箭推進性能之助推裝置的參考資訊。 3.本廠藉由本案之執行，建立 3D 電腦輔助設計之能力，促進本廠對於彈體設計之 3D 立體化。 4.本廠藉由本案之執行，建立自主電腦輔助工程數值模擬平台，可用於彈體飛行之模擬並回饋第三點所提 3D 電腦輔助設計之修改。 5.本廠透過 3 與 4 項逐步建立本廠榴彈飛行氣動力學設計，使未來各式榴彈之氣動力外型設計均能符合氣動力優化的原則。 6.本廠藉由本案之規劃，研擬 113 年起之多年期國防突破式計畫，初步以自主設計、研發、分析並執行增程榴彈之研製。
五	技術備便水準評估	1.本案關鍵技術為『榴彈砲增程技術』，有鑑於國外均有相關方法進行報導，為我國目前僅有初步進行開發測試且欠缺氣動力優化等相關過程，因此經評估該項技術為 TRL2。 2.輔助本案所使用之開放源之電腦輔助工程技術已經在實驗室上獲得驗證可以用於超音速壓縮流模擬，惟重要相關參數尚未明朗，因此屬於 TRL4。

六	期程工項	學界 1.開工會議與議題展開，並依照本廠規畫進行定期會議與議題檢討 2.文獻回顧與資料收集 3.3D 榴彈外型建模 4.現有推進劑之熱物化性質分析暨產氣率資料試驗取得 5.實施榴彈底部幾何構型、單孔破真空、多孔破真空、火箭助推之影響數值模擬分析 6.訓練與標準流程提供：提供 3D 榴彈外型建模（使用 CATIA 或 Solidwork 軟體進行砲彈外型建模）、電腦輔助工程分析砲彈氣動力之流程及熱物化性質分析做法實施方式教育訓練。 本廠 1.專案管理：定期會議與議題檢討 2.提供習用推進劑微量樣本供學界分析其熱力特性，並提供安全建議 3.協助學界進行 3D 榴彈外型建模 4.實施 3D 電腦輔助設計與電腦輔助數值模擬技術之接收與廠內標準流程之建立 5.針對未來突破式技術進行計畫規劃

七 成本分析

一、申請補助經費：

金額單位：新臺幣元

執行年次 補助項目	第一年 (112年)	全程總經費
業務費 (a+b+c)		
a.研究人力費		
b.材料、耗材及雜項費用		
c.差旅費		
研究設備費		
管理費		
合計		

二、研究人力費　　金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		自主榴彈減阻助推增程技術之研發之規劃與統籌，以及帶領指導學生進行研究之整合
兼任助理		由博士生擔任，共計1名。 材料鑑定及熱物化性分析
兼任助理		由碩士生擔任，共計2名 文獻蒐集及整理，協助合成實驗及檢測分析
合計		

三、研究設備費

類別	設備名稱(中文/英文)	說明	數量	單價(元)	金額(元)	經費來源	
						本部補助經費需求	提供配合款之機構名稱及金額
機械設備	高溫熱重分析儀	推進劑成份分解之熱物化資訊分析，有助於釐清推進劑之成份影響。	1				

補充說明：

本案所購置之機械設備建置於計畫執行期間建置於學校，此案結束時，該機械設備移回本廠建置。

八 預期成果

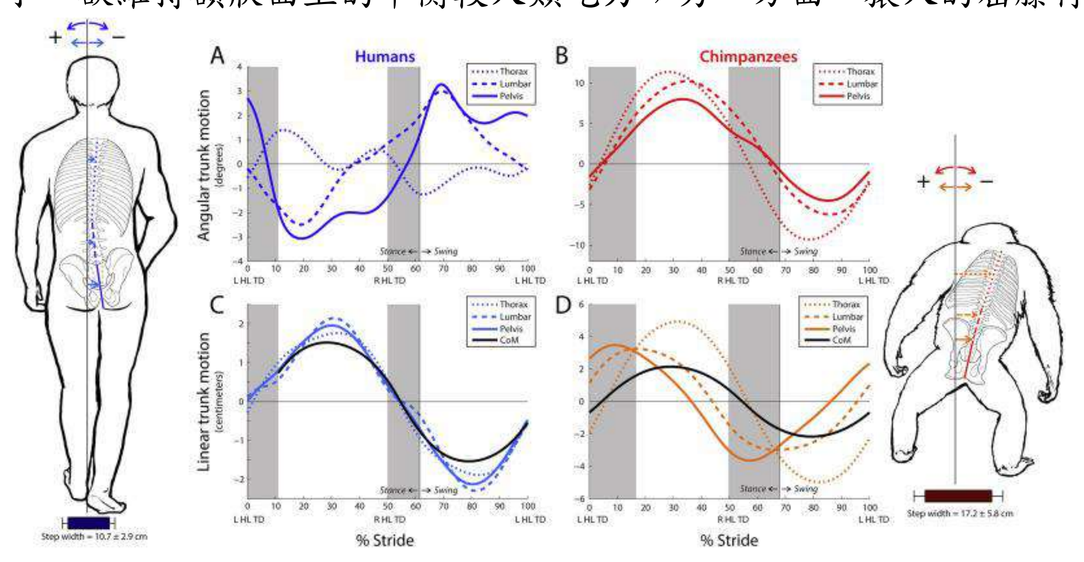
本計畫擬以自主技術建立榴彈增程策略與技術研發為主要的標的，透過 3D 模型建構，搭配現有推進藥之資訊，建立電腦輔助工程標準流程進行分析，以獲得未來榴彈增程技術突破與優化之基礎，相關預期成果如下所列：

1. 建立現有推進劑之熱分析資訊，包含熱值分析、熱重分析與活化能評估。
2. 建立現有推進劑之產氣率資料。
3. 建立榴彈底部幾何構型對榴彈飛行過程之阻力影響結果。
4. 建立榴彈底部單孔排氣破真空對榴彈飛行過程之阻力影響結果。
5. 建立榴彈底部多孔排氣破真空對榴彈飛行過程之阻力影響結果。
6. 建立漸縮漸擴孔成為火箭助推對砲彈飛行助益之評估結果。
7. 產出優化構型之彈體 3D 列印實體及不同配方之藥柱測試條樣本。

國防部軍備局生產製造中心第二０二廠 112年「國防先進科技研究計畫」構想書

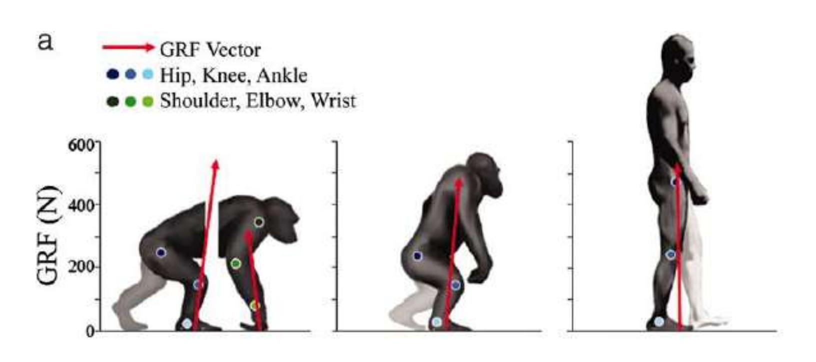
<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：仿人直膝式行走可變形機器人之技術整合與研究開發</td><td>計畫期程：112-115年</td></tr>
<tr><td colspan="4">分年經費規劃：</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：電機工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：第二０二廠　　聯絡人：馮貴平少校　　電話：02-27850271#5338</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">

相較於其他物種，靈長類的移動毋須使用所有腿足，僅以後肢即可行動自如。空出的前肢能在行進間使用工具，此特長成為環境適應上的一大優勢。相較於人類，由於其他靈長類大腿股骨的 Q-angle 較小，欲維持額狀面上的平衡較人類吃力；另一方面，猿人的屈膝行走



圖一、人類使用較少的位移量於維持額狀面上的平衡

相較於人類的直膝行走，前者耗費更多能量在矢狀面上的重心轉移。前述兩大因素，使人類成為唯一能全時以雙足行走的物種。直膝行走



圖二、屈膝行走與直膝行走

的能量效率為屈膝行走的十六倍；人類奔跑時的移動代謝成本（Cost of Transport, COT）甚至僅須其他哺乳動物平均值的 35%。若使用腿足移動，雙足直膝行走有較低的能量成本。

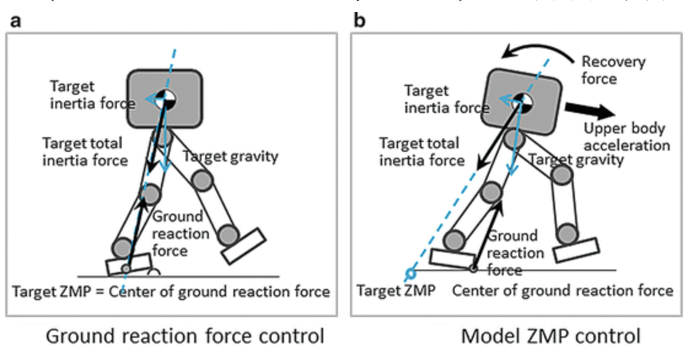
</td></tr>
</table>

於移動技術相關工程領域，車輪是人類最偉大的發明之一，車輪賦予載具高速、低能耗的優點。自公元前 3500 年車輪被發明以來，人類已為輪型載具造橋鋪路許久，於道路上的高速移動，輪型載具已成為優先選項。

若機器人能結合上述，再根據場域變換型態：在道路上使用車輪，於室內空間、複雜地形以雙腳移動，可大幅提升機器人的服務價值與活動範圍。

然而，雙足動態平衡向來是人形機器人發展中的難解課題，其牽扯技術牽涉多重感測器融合與即時動態平衡運動控制。控制策略則考驗對力學與生物行為的理解，其他使用的技術包含：材料結構分析與機構設計、致動器設計及其控制技術、電力系統開發與儲能技術、電路元件設計與系統整合、演算法與軟體技術研發等，因此人形機器人一直都被視為系統整合與控制的最高指標。目前世界各先進大國仍持續人形機器人的開發，原因在於機器人的核心技術能拆分應用在多種領域，例如仿生直膝式步行模型可用於動力式外骨骼的策略內容、仿生機構設計可作為先進義肢設計的參考、多重感測器融合經驗可用於車輛電腦輔助駕駛之感測、高能量密度輕量馬達可用於電動車領域、…。人形機器人的開發，著重的不僅是人形機器人開發後的應用價值；更代表著各式相關技術與產業鏈得以連結。

目前世界各先進國家均有其代表性的人形機器人，素有機器人王國之稱的日本，最著名的便是 HONDA 公司所研發的 ASIMO 機器人，自 1986 年開始研發，直至 2000 年才成功完成研發。ASIMO 的運動核心將零動量點（Zero Moment Point, ZMP）控制技術發揮到淋漓盡致。



圖三、HONDA ASIMO 的三大 ZMP 控制技術

之後的 10 多餘年內持續在國際間嶄露頭角，除曾與德國總理梅克爾握手外；甚至更和美國總統歐巴馬踢足球互動。雖然 ASIMO 已於 2018 年終止開發，但其相關關鍵技術與經驗已廣泛應用至 HONDA 的許多產品之上。不過，HONDA 公司並未停止機器人的相關開發，其旗下

的 E2-DR 救災機器人，仍在持續的努力研發當中。

同樣為日本汽車業界的 TOYOTA 公司，也於 2017 年公開其研發的 T-HR3 大型人形機器人，不僅具有優異之行動能力，更可透過 AR 與外骨骼平台無線遠端進行操控，2017 年 11 月的 IEEE Spectrum 雜誌更將其刊登於封面做為報導。此外，日本產業技術綜合研究所（National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST），更曾發表多款 HRP 系列的大型人形機器人；以及發表多篇國際學術研究期刊，人形機器人的研發能量可見一斑。

其次，近年來備受矚目的人形機器人，便是美國波斯頓動力公司（Boston Dynamic）所開發的 Atlas 機器人。Atlas 的平衡技術乃活用角動量控制（Angular Momentum Control）技術。系統用於平衡的角動量主要來自安裝於身體內部的飛輪（Flying Wheel），藉其旋轉時的角動量來創造平衡。而機動能力則與瞬時捕捉點（Instantaneous Capture

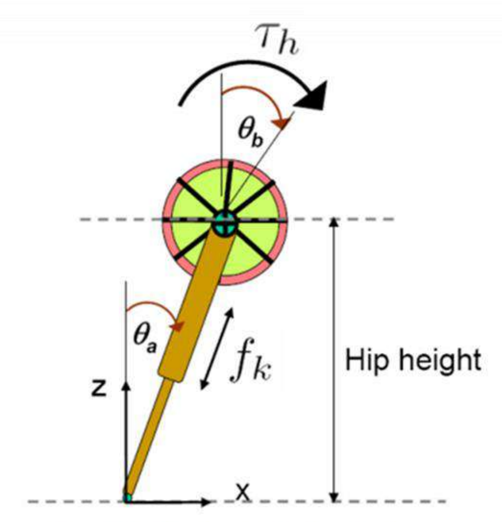


Fig. 1. Abstract model of a biped in the single support phase with a flywheel body and massless legs. The swing leg is not shown. The two actuators of the biped are located at the flywheel center (also the CoM of the biped) and the leg.

圖四、使用飛輪角動量協助單腳支撐時的平衡

Point, ICP）概念的實現有關。簡要敘述此概念，即為機器人遭受外力時，若無法於原地維持平衡，則順著受力方向跨出一步，藉由支撐範圍（由支撐腳所圍成之凸多邊形）的擴張，使 ZMP 重新落於支撐範圍內。綜合成效使 Atlas 能在崎嶇地形跑步、還能後空翻，除了優異的下肢移動能力外，還能以上肢搬運貨物及開門等，充分展現在人類生活空間與人互動之能力。該機器人自 2008 年的 PETMAN 類人型機器人開始改良後，於 2013 年公開亮相，並持續改良至今，歷經美國國防部贊助、Google、軟銀收購及轉賣、直至現在由韓國現代汽車收購，開發過程並非一帆風順，但仍堅持其研發目標，才能展現現有之優異成果。

此外，美國近年一家新創公司 Agility Robotics，其開發的雙足機器人 Digit 已成功的與福特公司自駕車技術整合，成為無人物流業由貨車至家門口最後一哩路的關鍵拼圖，更成為 2020 年首個市售商業應用

的大型人形機器人，同樣於 2019 年 3 月受 IEEE Spectrum 雜誌刊登於封面做為報導。

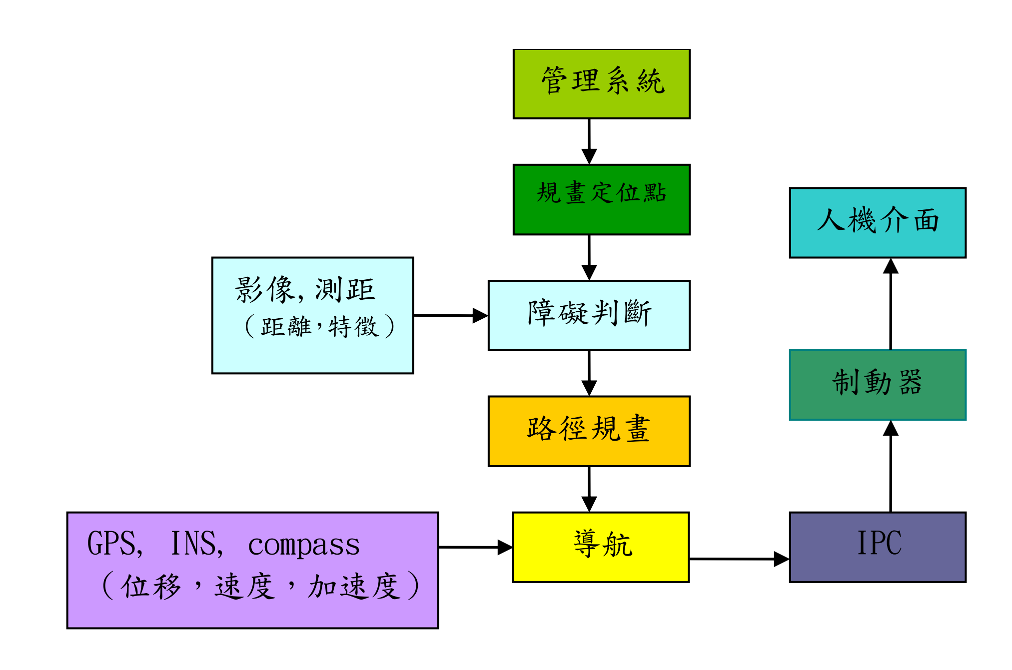
在其他國家方面，韓國科學技術院（Korea Advanced Institute of Science and Technology, KAIST）所開發的 DRC-HUBO 大型人形機器人，在 2012 至 2015 年美國國防高等研究計劃署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）所舉辦之機器人挑戰賽（DARPA Robotics Challenge, DRC）贏得第一名的殊榮，其獲勝關鍵，乃在不堅持全時使用雙足，於部分情境採取跪姿，以裝置於小腿的車輪移動。

而在我國方面，臺灣科技大學機械系林其禹教授於 2005 至 2007 年的國科會計畫中，成功開發出台灣第一部大型雙足人型機器人（Taiwan Bipedal Humanoid Robot -1, TBHR-1），其硬體技術來源主要來自於日本早稻田大學高西淳夫研究室，於 2008 年展示 Janet 及 Thomas 等兩台機器人進行相聲表演。其次，國科會委由臺大機械系黃漢邦教授協助開發仿生人形機器人，在歷經三年的開發後，成功研發出一套由機構、電路及演算法均自行設計之手語表演用途全人形機器人尼諾（Nino），高度約 145 公分、重量約 68 公斤，並於 2013 年進行發表。臺大電機系羅仁權教授於 2016 年台灣機器人與智慧自動化展中，亦展示其團隊所開發之大型人形機器人 Renbo，高度約 165 公分、重量約 80 公斤，能單腳站立。目前國內於人形機器人的研究，仍然較少著墨於下肢移動能力的開發。

除了平衡的強健性，機器人須具備一定程度的智慧才能提高其應用價值。智慧系統設計具有相當的複雜性及整合性。所謂「智慧」可大致定義為：系統在不確定環境中具有適切反應的能力。進一步說，系統的各個感測迴路必須在外界擾動及無預期之回饋迴路下達成系統之目標。因此在智慧無人載具開發前需考慮以下針對設計要點：

1. 系統達成目標定義。
2. 系統在不確定環境下之表現能力。
3. 系統工作執行項目。
4. 系統使用感測器。
5. 系統使用之致動器。
6. 系統所需之目標資訊。
7. 系統功能架構。

考慮自主式智慧無人載具，其基本系統架構需具有下圖三之架構。



圖五、自主式智慧無人載具基本架構

由大型應用層面觀之，世界各國早已投注大量的資金於救災任務的研發工作，特別是在無法以人類進行救援的重大災難現場，例如2011年日本311大地震所引發的福島核災事件，迄今仍在進行災後復原工作，美國國防先進研究計劃署（DARPA）在2012至2015年間所舉辦的機器人挑戰賽（DRC）便是特別為此事件所設計，主要內容便以福島核災現場設計各項救災闖關任務，全世界計有25個隊伍參加比賽，如前段所述，最後由韓國科學技術院（KAIST）所開發的DRC-HUBO大型人形機器人獲得優勝。雖然人形機器人於短時間內仍難以投入救援任務，但若是搜救人員配備動力式外骨骼亦會是災難現場的一大助力。人形機器人的開發與運動控制經驗，可協助動力式外骨骼快速發展出多肢段輔助系統。

二　計畫目的

機器手臂、機器視覺、以及人工智慧的發展已日益成熟，若缺少移動載台，前述技術的應用領域將大幅受限。雖然輪型、履帶型載具技術成熟，但仍有諸多使用場域限制（表一）。

型式 ＼ 能力	全向移動	橫移、斜進	原地迴轉	上下斜面
傳統車輛輪型	×	×	×	✓
履帶型	×	×	✓	✓
全向輪型	✓	✓	✓	×

表一

本計畫最終目的在開發一具身高一百公分、可實際行走之自主移動人形機器人。於移動能力方面：機器人能仿照人類以直膝式步態全方向移動（直膝式步態意指步行週期內，支撐腿於推進時段呈現直膝特徵）。屈膝步態則為直膝式步態之特例，可用於崎嶇地形或不穩定路面。於形態方面：能視需求切換為人形或輪型載具，以最有利之型態

		執行任務。於外界感知方面：具備路面感知能力、SLAM 與導航功能，期能進行偵蒐任務。 無人載具替代作戰人員於無特定戰場的環境實施掩護和偵察操作時。在性能上不僅需有良好操控性及障礙穿越能力，並對固定式目標監視和偵察，提供戰場情報。機器人重要屬性及功能與應用如下： 1. 網路化：透過網路傳輸現況情資訊，擁有一對多之網路建構功能，可以即時處理搜救現場即時資訊情報與命令下達。 2. 自動化：透過全球定位系統、運動控制及視訊觀測傳輸使得有感知的能力可知道在當時環境的狀態時間和位置，亦有影像辨識及標定目的物之功能，提供加速資訊處理的能力。 3. 智慧化：具有搜索、感測、智慧型碰撞迴避及清除障礙之應用功能，且透過運動模型的建立將提高克服路況之運動續航力。 4. 系統化：經由系統發展之概念，將所需之功能及硬體以模組化的方式建立，使用共同介面交換資訊，確保在未來新技術可即時運用於功能提升。 計畫初期將核心理論實作於四足平台，產出能仿生行走之四足機器犬，應能於理想平面上運作；中期加入戶外移動功能、自主移動與導航能力、同時開發人形機器人硬體；後期機器犬應可行走於戶外場地執行偵蒐任務、機器人則能行走於戶外，並能根據指令切換成輪型載具，於平面上的輪型移動速度高於步行速度。
三	研究議題	自主仿生人形機器人之開發為一項整合各種技術之複合平台，規劃研發期程為四年，依照機器人開發所需各項關鍵技術規劃分年研究議題如下： ◆ 112 年：機器人系統設計、製作與控制，型式為四足機器犬，尺寸參照真實中型犬科平均尺寸。將仿生運動模型導入相對穩定的四足系統，藉此掌握中型機器人的各種物理特性、同時印證與實作仿生運動模型。並展開嵌入式系統應用於智慧控制研究 ◆ 113 年：多重感測器融合開發，使機器犬具備一定抗干擾之自主平衡能力，並嘗試於戶外地形運作。開發成果亦用於孩童尺寸人形機器人硬體製作與全向移動控制。亦針對不確定環境下智慧導航及定位方法研究。 ◆ 114 年：四足機器犬加入 SLAM 避障導引等環境感知技術與載物測試；孩童尺寸人形機器人導入自主平衡控制。並針對使用物聯網定位多載具協作之研究。 ◆ 115 年：整合四足機器犬與 AI，試行安防監看任務、人形機器人戶外地形自主運動控制。 關鍵項目研發，依主題分為仿生二（四）足機器人開發、與智慧載具 AI 技術實作二個子計畫： ◆ 子計畫一、仿生二（四）足機器人開發： ● 議題一、仿生四足機器犬實作

112 年：

(1) 四足機器犬機構開發與設計
(2) 四足機器犬控制電路開發與設計
(3) 肢段正逆向運動學控制與實作
(4) 四足仿生移動運動學推導與實作

113 年：

(1) 多重感測器融合
(2) 四足機器犬零動量點估測器設計
(3) 四足機器犬零動量點補償控制
(4) 四足機器犬於複雜地形上之姿態估測與控制

114 年：

(1) 使用 Lidar 實現 SLAM 避障導引
(2) 負載姿態控制
(3) 系統容錯測試

115 年：

(1) 深度資訊分析與分層影像感知系統之開發與設計
(2) 標籤化影像分類與識別之深度學習研究
(3) 感知分層深度訓練與對應動作模組分類之智慧化學習與開發
(4) 植基於立體視覺系統於機器人平台動作學習與分析之整合測試與研究

- 議題二、仿生人形（二足）機器人實作：

113 年：

(1) 人形機器人機構開發與設計
(2) 控制電路開發與設計
(3) 雙足人形下肢移動控制實作

114 年：

(1) 使用多重感測器之人形機器人零動量點估測
(2) 使用多重感測器之人形機器人零動量點補償控制
(3) 理想平面上基於 Capture Point 之平衡控制
(4) 理想平面上抗衝擊平衡控制

115 年：

(1) 肢段行為反射控制
(2) 人形機器人於複雜地形上之姿態估測與控制
(3) 人形機器人於複雜地形上之移動控制

◆ 子計畫二、智慧載具 AI 技術實作：

112 年：嵌入式系統應用於智慧控制研究：

(1) 應用感測器於環境偵測資訊融合,藉由完整的 ROS 功能包與編碼器、Lidar 雷達、控制運算器之系統整合。
(2) 藉由系統識別理論，如高斯最小平方法或擴展型卡曼濾波

<table>
<tr><td></td><td></td><td>器系統理論估測系統參數值，提升目前系統運動模型及導航控制之精度。
(3) 將原有差分式 DGPS 修改為即時動態量測（Real Time Kinematic,RTK）模式之量測，增加導航之精確度。
113 年：不確定環境下智慧導航及定位方法研究：
(1) 結合 ROS 虛擬機器人操作系統（Robot Operating System）做為軟體系統的主開發架構，再結合二足及四組機器人作為硬體載台。
(2) 結合人工智慧 Gmapping 繪圖演算法與 TEB 路徑規劃，實現機器人進行 SLAM 定位演算法（Simultaneous Localization and Mapping）。
(3) 以自動繪製並建構地圖以生成機器人移動的完整路徑規劃。計畫中將採用虛擬機與機器人機構進行分佈式通訊連線，測試機器人在各種模擬路徑環境中進行定位及自主導航測試。
114 年：結合物聯網定位多載具協作研究：
(1) 結合行動地面站的數據鏈路資訊、圖傳鏈路資訊、無人載具操控及各類酬載獨立控制等基本功能外，達到快速佈建、即時化、高精度等目標來滿足各式多載具協作時要求。
(2) 結合雙足及四足機器人系統所攜帶的各類酬載（探測器），同時提供載具控制、載具姿態顯示、GPS 地理資訊顯示、影像資訊顯示、特定酬載資訊顯示等。目標開發載具物聯網協作系統，形成多載具連結架構，在室外及室內環境可由單一地面站統一監控及規劃路徑，達到多系統協作的目標。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>國軍在許多工作的執行上往往需要較大的體力來維持，如彈藥產製任務，現行本廠在彈藥產製期間，各道次機具間料件均是以人工方式進行搬運，初步能在官兵上運用動力式外骨骼，藉由仿生運動模型，提升官兵肌力，達到人機協同的目標，降低人員在彈藥搬運時的負擔，並能蒐整仿生運動模型設計及作動參數，將相關參數回饋至仿生人形機器人機構設計上，未來即能藉由機器人取代人工搬運工作，直接減少人員職業災害機會，並有效提升生產效率。
本廠未來將開發新式 120 公厘迫砲車，而目前採人工操作方式進彈，但因彈藥重量較重，雖然運輸期間可藉由載具運送，惟在彈藥裝填時，亦因迫擊砲射角範圍較大，且於各射角均需具備直接進彈功能，故對官兵造成操作負擔，未來官兵能運用動力式外骨骼，藉由仿生運動模型，提升官兵肌力，降低人員在彈藥裝填時的負擔，並能蒐整仿生運動模型設計及作動參數，將相關參數回饋至仿生人形機器人機構設計上，未來即能藉由機器人取代人工裝填工作，有效提升射擊速度。</td></tr>
</table>

五	技術備便水準評估	本計畫考量本人先前已完成仿人步態建模、人形機器人角動量控制等基礎研究，並具有實作成果，且技術獲得日本「鋼彈全球挑戰賽」採納、技術亦用於執行「直膝式動力輔助系統應用之開發與設計」產學分包案，故評估屬技術備便水準 TRL3「對關鍵功能能進行分析與實驗/證明概念特性」，俟完成大型化系統、關鍵技術整合，即可獲得實體機器人，能在相關環境下後續進行測試，屆時關鍵技術達 TRL6「系統或分系統模型或原型能在相關環境下展示」以上。

項次	關鍵技術名稱	現有TRL等級	TRL 評定理由	目標TRL 等級	風險評估說明
1	仿生人形機器人設計	2	已在學界發表論文。	4	已掌握 60cm 高度機器人設計概念，100cm 仍須持續測試。
2	機器人直膝式行走原理模型	5	理論內容已載入 18 公尺高機器人，並於東京橫濱港展示。	6	已初步驗證理論能在他國建造的 18 公尺高的機器人系統內正常運作，自製系統仍待測試。
3	機器人直膝行走實作	4	已有全自製（含關鍵伺服馬達）小型可運作版本。	6	已包含有自製關鍵元件、可於測試環境運作版本，大型化仍有待測試。

六	期程工項	一、112 年工項經費分配表

研究議題		小計（仟元）
四足機器犬系統研製與平面上之運動控制	機器人系統自由度分析與設計	
	機器犬機構設計與製作	
	機器犬致動器與機電控制電	

	路設計與製作	
	機器犬移動控制	
嵌入式系統應用於智慧控制研究	應用感測器於環境偵測資訊融合	
	藉由系統識別理論提升導航控制精度	
	即時動態量測模式之量測	

二、113 年工項經費分配表

研究議題		小計（仟元）
一百公分人形機器人系統研製與平面上之運動控制	機器人系統自由度分析與設計	
	機器人機構設計與製作	
	機器人致動器與機電控制電路設計與製作	
	機器人移動控制	
不確定環境下智慧導航及定位方法研究	結合人工智慧 Gmapping 繪圖演算法與 TEB 路徑規劃，實現機器人進行 SLAM 定位演算法	
	以自動繪製並建構地圖以生成機器人移動的完整路徑規劃	

三、114 年工項經費分配表

研究議題		小計（仟元）
結合物聯網定位多載具協作研究	結合行動地面站的數據鏈路資訊、圖傳鏈路資訊、無人載具操控及各類酬載獨立控制等功能	
	結合雙足及四足機器人系統所攜帶的各類酬載（探測器），同時提供載具控制、載具姿態顯示、GPS 地理資訊顯示、影像資訊顯示、特定酬載資訊顯示	
人形機器人於室內複雜地形之移動控制開發	斜面地形移動控制開發	
	階梯識別與移動控制	
	柔軟地面移動控制開發	

四、115 年工項經費分配表

研究議題		小計（仟元）
致動系統伺服控制之控制演算法開發	FOC控制演算法開發	
	直流無刷馬達軌跡規劃	
	直流無刷馬達角度控制	
人形機器人於戶外複雜地形之移動控制開發	人形機器人於破碎路面之移動控制	
	運動韌體與 AI 整合驗證與測試	
	測試場域搭建	

五、本廠

專案管理：定期會議與議題檢討，掌握執行進度內容符合計畫需求。

七 成本分析

一、申請補助經費：

金額單位：新臺幣元

補助項目＼執行年次	第一年（112年）	第二年（113年）	第三年（114年）	第四年（115年）	全程總經費
業務費（a+b+c）					
a. 研究人力費					
b. 材料、耗材及雜項費用					
c. 差旅費					
研究設備費					
管理費					
合計					

二、研究人力費

金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人		負責全案開發研究之規劃與統籌，以及子計畫一研究與整合。
共同主持人		負責子計畫二開發研究之規劃與統籌。
專任助理		由碩士學歷擔任，共計3名 文獻蒐集及整理，協助平台製作，馬達系統開發，感測元件設計
合計		

三、研究設備費

類別	設備名稱（中文/英	說明	數量	單價（元）	金額（元）	經費來源

	文）					本部補助經費需求	提供配合款之機構名稱及金額
機械設備	四通道示波器	馬達相位量測、機器人主板、感測、通訊等訊號量測。	1				
機械設備	電流探棒	用於電力消耗分析	4				
機械設備	高壓差動式探棒	用於未接地參考、浮動獲隔離測量	2				
機械設備	大功率電源供應器	用於動力系統供電測試	4				
機械設備	訊號產生器	供應設備或系統的觸發條件	1				
機械設備	桌上型五軸 CNC	工程開發零件打樣測試	1				
機械設備	工業用積層製造設備	工程開發零件打樣測試	2				

八 預期成果

本計畫規劃開發乙套身高一百公分高之人形機器人並採取仿人的移動策略來取代傳統屈膝行走，預期分階段執行如下：

第 1 年：實現四足機器犬之機構設計與控制

第 2 年：多重感測器融合，實現機器犬自主抗干擾與地形適應能力、實現人形機器人之機構設計與控制

第 3 年：機器犬整合 SLAM 與導航技術，能自主移動於複雜地形、人形機器人實現自主平衡能力

第 4 年：機器犬能自主執行安防監看任務、人形機器人具備戶外行走能力

最終整體效能方面，人形機器人預期具有以下特性：

1. 高度：100 cm
2. 重量：20 kg 以上
3. 功能：
   (1) 平地行走 3 km/hr 以上
   (2) 高低落差 3 cm 以上之崎嶇地面行走
   (3) 本體重量外，可乘載 5kg 以下之負載行走
   (4) 可全方向移動（含前進、後退、左轉、右轉、水平橫移及斜走）
   (5) 步行時抬腳離地高度為 5 cm 以上
   (6) 上下樓梯
   (7) 可變型態，根據需求選擇步行或以車輪移動

		4. 自由度：20 個以上 　　目前本廠在彈藥產製期間，各道次機具間料件均是以人工方式進行搬運，本計畫所開發之中型人形機器人平台，特別著重於人形機器人之機構設計與控制技術，可取代人力執行彈藥產製工作，直接減少人員職業災害機會，並有效提升生產效率；另期藉由前揭人形機器人機構設計原理運用於本廠將開發之新式 120 公厘迫砲車進彈機構上，取代目前由人工方式執行彈藥裝填之工作，降低官兵在作戰任務時之負擔。

國防部軍備局生產製造中心第二０二廠
112年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：可燃性藥筒材料老化暨防水性研究	計畫期程：112-113 年
分年經費規劃：	
全期經費額度：	研究領域：化學工程
提案單位：第二０二廠　　聯絡人：郭宗鑫上尉　　電話：02-27850271#5341	

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	本國預計向美方採購 M1A2T 戰車及相關用彈(穿甲或練習彈)，如圖 1 所示，以提升國土防衛自主能量，其相關彈藥所使用之裝藥材料為「可燃性」，無論材質及特性皆與現行服役彈種不同，經瞭解其具有一定燃燒特性、能量特性以及機械性質的表現，以此取代原有裝藥材質(彈筒)，該彈筒作為各式戰車彈裝藥材料(如圖 2)，經射擊及人員裝填更換彈藥過程中，發現脫殼後之金屬僅留下金屬底部及傳火藥管，且射擊後可隨即裝填下一發彈藥進行射擊，與傳統彈筒相比無大型金屬另件殘留，於彈筒報廢時不需額外消耗報廢成本，考量現今政策走向需執行國軍武器彈藥換裝，為避免接裝後，自製生產出現技術銜接差異，需超前獲得該材料製造技術與相關生產參數，故本案為後續可燃性藥筒製程所需之必要研究，符合科技前瞻性及必要性，而後續亦可配合美軍技轉藍圖，無論是將其作為替代用料，或確認研究而得之配方性能較佳，皆可與國防科技發展藍圖銜接。  圖 1  圖 2 本廠前已委託學術單位完成可燃性藥筒製造技術開發基礎研究，相關成果為已藉由檢測數據之趨勢分析及可行性確認，現已獲得可符合美軍可燃性藥筒機械強度之最終最佳化比例參數，並運用熱壓成型技術成功製作縮放尺寸之藥筒；惟可燃性藥筒之主配方為硝酸纖維素，該材料極不穩定，在高溫下極易著火，且將自行降解催化生成氮氧化物，在儲存過程中會隨著時間的推移而加速，故研究老化過程，為必要之研究，以利提高庫儲安定性，另考量硝酸纖維素易吸水受潮，恐影響最終彈藥射擊效能，本研究 112 年度將以安定性(老化)測試及防水性質為主軸進行研究開發；113 年度則執行產製可燃性藥筒實體模具建置及實體產出。

二	計畫目的	為確認材料穩定性、儲存安全及防水性質，針對可燃性藥筒材料進行最佳製程配方調整並執行安定性(老化)測試與防水性研究，比對燃速、點火溫度、燃燒熱及機械性質，以達到提升材料安定性及防水性質之需求，並規劃採學術合作方式進行可燃性藥筒實體開發作業。
三	研究議題	112 年度 1.藥筒安定性試驗資料蒐整、分析及評估。 2.相關配方、加工製程與設備技術開發。 3.建立實驗室級模擬安定性(老化)、鑑定安定性之設備。 4.建立實驗室級模擬防水性、鑑定防水性質之設備。 113 年度 1.可燃性藥筒實體藍圖建模。 2.建立製備可燃性藥筒實體之模具。 3.完成可燃性藥筒實體產出。
四	運用構想	本計畫研製成果將結合本廠前階段開發可燃性藥筒製作，運用於後續美軍辦理 M1A2T 戰車用彈接裝後生產長久使用，避免因久儲造成品質劣化或射擊時毀損武器系統，將有助武器系統的射擊穩定性，所研究之安定性試驗概念及原理亦可延伸至相關武器系統上，而相關防水性質檢測亦可運用於本廠多項火工產品後續檢測使用。
五	技術備便水準評估	本計畫考量本廠先前已完成可燃性藥筒材料基礎研發，並獲得成果，故評估屬技術備便水準 TRL3「對關鍵功能能進行分析與實驗/證明概念特性」，俟完成安定性(老化)試驗、防水性質評估及實體產出後，即可獲得實體藥筒可於相關環境下後續進行測試,屆時關鍵技術達 TRL6「系統或分系統模型或原型能在相關環境下展示」以上。
六	期程工項	112 年度 學界 1.配合本廠每季定期進行議題檢討。 2.文獻探討。 3.設計安定性(老化)及防水性試驗。 4.最佳配方製程，並同步針對第 205 廠可燃性藥膠殼製程相關技術資料、成品或試片執行相關熱性質、可加工性、灰分、燃燒時間、機械性質等相關試驗，納入比對分析。 5.執行安定性(老化)試驗驗證及藥筒防水性質驗證。 本廠 1.專案管理：每季定期執行議題檢討。 2.協助學界完成安定性(老化)及防水性驗證試片建模。 113 年度 學界 1.配合本廠每季定期進行議題檢討。 2.文獻探討。 3.以 105 公厘戰車彈頭等比縮放，設計各零件尺寸及結合方式完成藥筒模具並依據本廠藍圖進行實體藥筒產出。

		本廠 1.專案管理：每季定期執行議題檢討。 2.協助學界辦理實體藥筒模具建模與藍圖繪製。
七	成本分析	見下列各項

一、申請補助經費：

金額單位：新臺幣元

執行年次 補助項目	第一年 (112年)	第二年 (113年)	全程總經費
業務費 (a+b+c)			
a. 研究人力費			
b. 材料、耗材及雜項費用			
c. 差旅費			
研究設備費			
管理費			
合計			

二、研究人力費

金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）**及計算方式**
主持人 計畫主持費		可燃性藥筒材料老化暨防水性研究之規劃與統籌，設計老化實驗以及各分項研究之整合
共同主持人 計畫主持費		防水性研究之統籌與計畫執行及進度掌握
兼任助理		由博士生擔任，共計2名 高分子老化實驗，材料鑑定及物化性分析
兼任助理		由碩士生擔任，共計2名 文獻蒐集及整理，執行防水性研究及檢測分析
合計		

三、研究設備費

類別	設備名稱 (中文/英文)	說明	數量	單價(元)	金額(元)	經費來源	
						本部補助經費需求	提供配合款之機構名稱及金額
機械設備	可燃性藥筒模具	執行藥筒實體產出	1				

八	預期成果	1.獲得藥筒安定性試驗之模擬老化設計、鑑定安定性基準、提升防水性質技術及實際性能數據(燃速、點火溫度、燃燒熱及機械性質)驗證，以厚植本廠技術能量。 2.完成最佳配方製程調整，提升材料安定性，並避免藥筒及內部發射藥受潮之風險，以達到軍規等級需求，增加武器系統射擊穩定性。 3.該關鍵技術依據美國國防部(DoD)技術備便水準(Technology Readiness Level ，TRL)可達 Level 6「系統或分系統模型或原型能在相關環境下展示」(含)以上。 4.完成可燃性藥筒實體產出。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：具緊急釋放功能之機電致動器(EMA)研究(1/2)</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：航空研究所模擬組　聯絡人：魏銘彥　電話：(04)27023051 #503783</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">國內外皆以無人機作為航空工業新興市場，近年來國防科技、產、研界在無人機載具與應用服務發展皆有顯著成長，如:偵蒐載具、服務應用平台、物資運送、通訊平台與垂直起降等，然而對於鼻輪或主輪起落架皆採用外購方式或固定式起落架達成無人機起落功能，考量到現今電動系統逐漸取代商用或軍事飛行器上的液壓系統，可接收飛控裝置或電子設備的輸入命令及監控信號，例如透過飛控電腦對於操縱面產生致動力矩，或緊急操作迴路可供起落架緊急釋放作用。常見起落架控制單元(LCU)最少需具備兩個迴路，提供飛行裝置、電子設備或電力側產生起落架作動的致動命令，以此通用性需達到最大化，設計、製造、安裝、維修與更換的複雜性需達到最小化，避免 EMA 常發生故障，導致致動功能無法完全運作。
目前國內並無相關產品可供使用，面對本所後續無人機起落架收放功能之需求，國外產品仍以電動淨液致動器(EHA)為主，考量到無人機荷重及電力整合一致性等因素，本案提出全電動的致動器。

圖 1 EMA 設計示意圖</td></tr>
</table>

二	計畫目的	本案為 2 年期程之研究開發計畫，目的在於達成無人機起落架之收放控制功能，進而透過 LCU 達到收放之目的，本計畫在這樣的前瞻考量下，開發一套可用於鼻輪或主輪起落架之 EMA，預期將開發成果作為 1500 磅級無人機之鼻輪或主輪起落架使用。預計達成功能為： 1.全電動致動器 2.具緊急釋放功能，讓起落架可以 free fall 3.伸長量大於 130mm 4.重量不超過 16 公斤 5.推力、拉力大於 2000N 6.馬達為電壓 24VDC、電流 15A 以下，具剎車功能 7.IP63 等級，防塵防雨，具超溫保護 8.溫篩-20~60 攝氏度，最大振動 10g，常態振動 2.5g 9.具備正常操作，迴路具有獨立控制與電源 10.具備緊急操作，迴路具有獨立控制與電源
三	研究議題	1. EMA 設計 2.控制電路板開發 3.馬達後級模組開發 4.致動器推力與拉力分析 5.LCU 韌體開發 6.近接感測器與電磁離合器安裝 7.溫篩與震動測試 8.正常與緊急操作迴路設計
四	運用構想	現今 1500 磅級無人機起落架為固定式起落，尚未採用鼻輪或主輪起落設計，為能提供無人機之額外正常或緊急起落，本計畫預計完成 EMA 設計、分析與控制技術開發後，應用於起落架設計與開發，具備較高的維護度、輕量化與功能性。
五	技術備便水準評估	1. 利用正常與緊急迴路設計，由類比或數位電路產生馬達驅動的三組 PWM 訊號，預估其 TRL 為 3。 2. 輸入低壓 24 伏，將三組 PWM 訊號轉換經由後級模組產生馬達驅動的 UVW 電力來源，其 TRL 為 3。 3. 利用近接階開關與電磁離合器搭配，執行正常與緊急迴路設計下的 EMA 釋放功能，其 TRL 為 3。 4. 本系統關鍵技術研發後之 TRL 目標值為 TRL4。 本案研發流程：計畫書構想➔文件及資料蒐集➔可行性評估➔開發規劃➔設計計畫➔工程研討➔出圖/發包、採購➔組裝➔測試➔驗證

<table>
<tr><td rowspan="2">六</td><td rowspan="2">期程工項</td><td>

研究議題(國防學合計畫)
1. 「機電致動器(EMA)機構、電路與功能規劃設計，以及推力與拉力分析驗證」報告一份(含規格與推導程式)。(112 年度) 2. 「機電致動器(EMA)機構位移、速度與加速度分析」報告一份。(112 年度)
1. 「機電致動器(EMA)機構、電路與模組製作，以及 LCU 韌體開發」報告一份(含溫篩與震動驗證)。(113 年度) 2. 「機電致動器(EMA) 位移、速度與加速度量測及與分析值比對」報告一份。(113 年度) 3. 「可用於鼻輪或主輪起落架之 EMA」一套。(113 年度) 測試驗證方式: 1. 控制機箱溫篩測試-溫度範圍：(-10)度-(+60 度)一次循環 2 小時，為低溫 1 小時、高溫 1 小時，共做 12 個循環，本項執行前與執行後致動器需要能正常伸縮動作。 2. 控制機箱隨機振動-三個軸向隨機振動：均方根值 2.5g(含)以上，每一軸向需達 10 分鐘，執行過程中致 動器需要能正常伸縮動作。 3. 控制機箱最大振動-三個軸向隨機振動：最大震動 10g(含)以上，致動器需要能正常伸縮動作。 4. 正常迴路操作時，馬達 100-2000 轉/分運轉，可調速 5. 緊急迴路操作時，致動器具備緊急釋放功能。 6. 正常迴路或緊急迴路時，致動器推力、拉力大於 2000N(含)以上。

</td></tr>
</table>

八	預期成果	1. 完成 EMA 原型設計與開發。 2. 完成 EMA 硬體裝置(含本體機構、致動器及驅動器元件等)設計與開發。 3. 完成 EMA 軟體開發。 4. 完成 EMA 溫篩與振動測試。 5. 完成 EMA 控制系統建置，可藉此驗證鼻輪或主輪收放功能。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：渦輪盤 Udimet 720Li 超合金的鍛造製程及高溫機械性能研究(1/2)		計畫期程：112-113 年
提案單位：中科院航空所結材組　聯絡人：李宥昀　電話：04-27023051#502037		
項次	項目	研究內容
一	計畫背景	為提升下一代戰機發動機推力，下一代戰機之引擎渦輪盤(turbine disk)材料採用 Udimet 720Li 超高強度鎳基超合金鍛件，使其在高轉速高溫的作用下仍維持高強度。惟 Udimet 720Li 超合金因合金化程度高，鑄錠偏析嚴重，導致熱加工性差、傳統鍛件組織不均勻。故自 1960 年代起美英法俄各國採用粉末冶金製程之粉末熱等靜壓胚錠(包含氣噴粉末及後續熱等靜壓製程)取代傳統鍛胚進入後續鍛造製程，其特點為晶粒細小、組織均勻，可改善宏觀偏析及熱加工性差的問題，並藉此獲得更好的高溫機械強度。 然而粉末冶金製程中粉末表面會析出形成碳氧化物薄膜且殘餘樹枝狀晶較多，故後續熱加工工藝需採用熱擠型或近等溫鍛造等複合式製程，來破碎氧化物薄膜及枝晶組織，並使晶粒細化及組織更緻密，以達到更高機械強度(1000°F高溫強度規範要求達 215ksi/165ksi/10%以上)。 目前國內對於粉末冶金製程所產製之 Udimet 720Li 超合金氣噴粉及熱等靜壓製程屬於開發試製階段(中佑精密材料與中科院之合作試製案)。而針對粉末冶金 Udimet 720Li 超合金進行後續熱鍛或等溫鍛造，英美各國則多採用熱擠型加上等溫鍛造工藝，或是直接採用等溫鍛工藝，然而目前國內對於鎳基超合金的近等溫鍛造製程仍有待開發，對於 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超高強度鎳基超合金的可鍛性、晶粒細化程度及高溫機械性能評估及相關鍛造工藝皆尚在文獻探討階段，技術備便水準約為 TRL1。 本案規劃與學研單位合作進行高壓渦輪輪盤 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金進行其熱間成型性質研究以評估其可鍛性，並建立近等溫鍛模組及模具材料評估，再進行小型鍛件試桿鍛打，針對不同鍛造參數對高溫機械性能的影響進行評估，作為中型渦輪扇發動機性能提升關鍵技術中粉末冶金渦輪盤製造技術及其等溫鍛造技術的前期研究，使技術備便水準提升至 TRL3。

二	計畫目的	本計畫目的是將國內自主開發之渦輪盤材料Udimet 720Li粉末熱等靜壓超合金做後續鍛造性質研究 1. 進行熱間成型性質分析，可鍛性評估。 2. 並建立小型近等溫鍛造模組，包含模具選用的可適性、鍛造參數評估。 3. 不同鍛造參數下的高溫機械性能研究和使用壽命評估 以上可作為開發中型渦輪扇發動機渦輪盤(turbine disk)等溫鍛造製程的前期研究評估，使技術備便水準從 TRL1 提升至 TRL3。
三	研究議題	本計畫主要分為三個分項， 1. Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金之熱間成型性質及機械性質研究 2. 高溫模具材料可適性評估 3. 小型近等溫鍛模組建立 4. 不同鍛造條件對 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金的微觀組織、高溫機械性能及使用壽命的影響
四	運用構想	本計畫之研究產出成果可以應用於國內自主開發下一代戰機引擎渦輪盤(turbine disk)之等溫鍛造製程中，作為中型渦輪扇發動機性能提升關鍵技術中粉末冶金渦輪盤製造技術及其等溫鍛造技術的前期研究。 預計可運用之研究成果包括: 1. 對國內自主開發之渦輪盤材料 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金的可鍛性的理解 2. 在近等溫鍛造中模具選用的可適性和鍛造參數評估 3. 鍛造參數對 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金鍛件的高溫機械性能和使用壽命評估
五	技術備便水準評估	國內對於渦輪盤鎳基超合金之等溫鍛造製程為待開發狀態，對於Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超高強度鎳基超合金的可鍛性、微觀組織及晶粒細化程度、機械性能評估及相關鍛造工藝皆尚屬文獻探討情形，技術備便水準約為 TRL1。 透過本計畫可對渦輪盤相關近等溫鍛造工藝能有更準確的掌握，包含模具選用的可適性、鍛造參數評估，及對 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金鍛件的高溫機械性能和使用壽命評估，可使技術備便水準從TRL1 提升至 TRL3。

六 期程工項

分工架構圖及相關期程工項	112年	113年
1.Udimet 720Li粉末熱等靜壓超合金之可鍛性及機械性質研究	1.1以Gleeble高溫成型實驗機探討Udimet 720Li粉末熱等靜壓超合金的熱間成型性，進行流變性測試數據收集、微觀組織分析及可鍛性評估 可鍛性數據評估，會比對相關的文獻數據，並用以做為建立小型近等溫鍛造模組後鍛造試製的參數評估數據庫	
	1.2 Udimet 720Li粉末熱等靜壓超合金之常溫及高溫(1000°F)機械性能及微觀組織評估 (高溫機械性能測試委由航空所結材組機械性能實驗室協助執行)	
2.高溫模具材料可適性評估及	2.1碳化鎢或同等高溫模具材料可適性之評估 ->進行拉伸試棒之鍛造模具加工	
3.小型近等溫鍛模組建立		3.1 近等溫鍛模組籌建及初步試製試桿 ->目前規劃以模具爐內加熱方式，與鍛胚加熱至相同溫度，並考量保溫性等配置，爾後放置於600噸油壓鍛機進行近等溫鍛造試製試桿。
		3.2近等溫鍛模組建立、評估出適用性高之兩組鍛造參數，進行試桿鍛打。
4.不同鍛造條件對Udimet 720Li粉末熱等靜壓超合金高溫機械性能、微觀組織、晶粒細化程度及使用壽命評估的影響		4.1 不同鍛造條件之微觀組織及晶粒細化程度
		4.2 常溫拉伸性能
		4.3 高溫拉伸性能(1000°F) (高溫機械性能測試委由航空所結材組機械性能實驗室協助執行)
		4.4 高溫潛變性能(1200°F 120ksi 200hr等三種條件) (高溫機械性能測試委由航空所結材組機械性能實驗室協助執行)
		分項4將產出機械性能有效數據16組作為機械性能評估。 機械性質的目標值會參照文獻及中科院內規範CMS-9041進行評估。
綠色方格為學研單位，黃色方格為中科院協助		

八	預期成果	預期產出成果如下: 1. 建立渦輪盤 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金的熱間成型性數據 2. 建立渦輪盤 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金之近等溫鍛造製程參數評估及模具選用評估 3. 渦輪盤 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金與其近等溫鍛造件之高溫機械性能和使用壽命評估。 以上對 Udimet 720Li 粉末熱等靜壓超合金的可鍛性的理解、在近等溫鍛造中模具選用的可適性及鍛造參數對 Udimet 720Li 超合金鍛件的高溫機械性能和使用壽命評估，可將技術備便水準從 TRL1 提升至 TRL3。 此有助於將來中型渦輪扇發動機性能提升關鍵技術中，粉末冶金渦輪盤製造技術及其等溫鍛造技術的開發有更準確的掌握。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:一體成型葉輪失諧葉片特性量測技術開發及阻尼器設計優化研究(1/2)</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：航空所結材組　　聯絡人：馬瑞平　　電話：04-27023051#503552</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1. 葉輪為渦輪及渦扇發動機冷段之核心部分。一體成型葉輪(Blisk)與傳統組合式葉輪相比，其重量可減少30%以上，故為未來發動機之首選。但是一體成型葉輪有兩個問題:(1)葉輪是以五軸加工一次成形，但葉片之間仍會有些微公差， 此現象稱為失諧(mistuning)；雖然失諧不會帶來動平衡問題，但失諧葉片會帶來振動集中，容易導致高周疲勞(HCF)；(2)一體成型葉輪本身阻尼值極低，故共振時之振幅極高。
2. 針對第一個問題，可在安裝葉輪前，先找出葉輪上各葉片之自身自然頻率，即假設轉盤(disk)為剛體時，單一葉片(blade)振動之自然頻率分布。葉輪的大多數自然頻率，與葉片自身自然頻率非常接近，且自然頻率間的微小變化與失諧間的關係非常複雜。因此，本計畫基於現有之FMM-ID(Fundamental Mistuning Model-Identification)技術，發展一套合適的演算法軟體，比較有無失諧葉輪之自然頻率，以估算一體成形葉輪之失諧狀況。本案將提高現有的「非接觸式激振及量測」之測試頻寬及改良試驗模態測試(experimental modal test)流程，以準確得知失諧葉輪的模態參數。
3. 針對一體成型葉輪本身的低阻尼特性，近年有學者提出使用環形阻尼器，由阻尼器與葉輪的摩擦面提供阻尼。可是，由於此一接觸面為熱套介面，其正向表面應力與公差相關；而公差會因離心力因素，隨轉速變化。因此可利用軟體估算正向表面應力隨離心力之變化，以得出正確阻尼值。
4. 進行阻尼估算後，將在轉盤和葉輪上進行實驗，驗證環型阻尼器的自然頻率及阻尼特徵。最後採用非接觸式電磁激振器激振旋轉中的葉輪，配合航空所/本校現有的非接觸式雷射都卜勒測振儀，再加上光學棱鏡旋轉雷射（如Sever 2014），量測葉輪於3000 rpm以下之振動，據此驗證比對分析所得到的阻尼值。</td></tr>
</table>

二	計畫目的	1. 一體成型葉輪(Blisk)與傳統組合插槽式葉輪相比，其重量可減少30%以上，為未來發動機壓縮器模組之首選。但是一體成型葉輪目前有兩個問題：(1)葉輪是以五軸加工一次成形，但葉片之間仍會有些微公差， 此現象稱為失諧(mistuning)；雖然失諧不會帶來動平衡問題，但失諧葉片會帶來振動集中，容易導致高周疲勞(HCF)；(2)一體成型葉輪本身阻尼值極低，故共振時之振幅極高。 2. 針對第一個所謂的失諧問題，解決方式是在安裝葉輪前，先找出葉輪上各葉片的自然頻率，即假設轉盤(disk)為剛體時，單一葉片(blade)振動之自然頻率分布。葉輪的大多數自然頻率，與葉片自身自然頻率非常接近，且自然頻率間的微小變化與失諧間的關係非常複雜。因此，本計畫採用 FMM-ID(Fundamental Mistuning Model-Identification)技術，發展一套合適的演算法軟體，比較有無失諧葉輪之自然頻率，以估算一體成形葉輪之失諧狀況。本案可提高現有的「非接觸式激振及量測」之測試頻寬及改良試驗模態測試(experimental modal test)流程，以準確得知失諧葉輪的模態參數與失諧程度。 3. 針對第二個低阻尼問題，近年有學者提出使用環形阻尼器，利用阻尼器與葉輪的摩擦面來提供阻尼。可是，由於此一接觸面為熱套介面，其正向表面應力與公差相關；而公差會因離心力因素，隨轉速變化。因此可利用軟體估算正向表面應力隨離心力之變化，以得出精準的阻尼值，並據此設計出合乎要求的環形阻尼器外形尺寸。 4. 本案採用以上兩種改進技術，將可建立葉輪在靜止狀況(無轉速)下失諧程度的評估計算方法，並與實驗數據比較確認。同時分析估算及驗證在不同轉速下，環型阻尼器對一體成型葉輪結構的阻尼增益效果。
三	研究議題	1. 提高現有的「非接觸式激振及量測方法」之測試頻寬。 2. 改良實驗模態測試的模態參數辨識流程。 3. 建立轉速對環型阻尼器熱套介面的表面力學特性變化之模擬方式。 4. 籌建葉輪旋轉情況下的量測設備。 5. 從葉輪旋轉的振動狀況，計算結構阻尼的方式。

四	運用構想	1. 在比較有無失諧葉輪的自然頻率數值方面，分析所採用的FMM-ID(Fundamental Mistuning Model-Identification)技術得到的分析值，與「非接觸式激振及量測」試驗所獲得的自然頻率數值，兩者的誤差需小於 5%。若誤差大於此值，必須修調 FMM-ID 模型以使分析值接近試驗值。 2. 在環形阻尼器的設計精進方面，分析與旋轉試驗所得到的阻尼比誤差須小於 20%，若誤差大於此值，必須修調分析模型中的參數以使阻尼比的分析值與試驗值在誤差範圍內。 3. 發動機失諧(mistuned)葉輪之振動遠比其設計值為高，故本案導入失諧 (mistuned)葉輪之參數辨析及振動分析方法，有助延長渦扇發動機之壽命/MTBF，協助航空所建立葉輪的設計驗證及品質管理能量。 4. 本計畫建立量測旋轉中葉輪之阻尼值方式，可協助發動機開發人員改善未來的阻尼器與一體成型葉輪的設計。
五	技術備便水準評估	1. 引擎小型組件之非接觸式激振與量測的模態測試技術，係以非接觸方式的指向性揚聲器來激振測試件，再搭配雷射量測組件之振動輸出，以求得自然頻率、阻尼與振形的測試技術，TRL等級為4。 2. 採用基本失諧模型鑑定(Fundamental Mistuning Model-Identification；FMM-ID)技術，發展一套合適的演算法軟體，估算一體成型葉輪各葉片自身的自然頻率差異，預估其 TRL 為 3。 3. 利用分析方法估算環形阻尼器與葉輪間的摩擦係數等物理參數，以準確估算兩者間阻尼值之技術，TRL 為 3。 4. 量測葉輪在轉速3000 rpm以下之振動狀況，建立一套非接觸式的量測設備，據此驗證葉輪運轉下的阻尼比技術，其TRL為2。 5. 全案TRL為3。
六	期程工項	第一年： 1. 「葉輪失諧狀況估算法推導及與模態測試驗證」報告一份(含FMM-ID 分析軟體)。 2. 「葉輪安裝環型阻尼器後於不同轉速下的阻尼值模擬」報告一份(含阻尼估算程式)。 第二年： 1. 「最高 3000 rpm 轉速之葉輪振動實驗裝置」一台。 2. 「不同轉速下葉輪的阻尼值量測及與分析值比對」報告一份。

八	預期成果	1. 葉輪失諧狀況未知下，無法掌握葉輪的振動量及其疲勞壽命。因此建立「葉輪失諧狀況估算法」，將可估算葉輪加工品質，並確保葉輪在運轉中的振動量在一定範圍內，延長發動機之使用壽限。 2. 近年國外研究探討環形阻尼器在無轉速時之表現，但是公差量與阻尼之複雜關係受離心力影響。因此在使用環形阻尼器前，必須驗證其特性在轉動時之變化。目前量測旋轉中葉片之振動為新興技術，本計畫建立實驗台，與國外類似實驗台之規格相若。實驗台數據可比對部分轉速下之模擬結果外，並可驗證估算的摩擦係數等參數。確保實際運轉下的阻尼符合預設值，以滿足設計規格，強化飛行安全。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：三級同步啟動發電機系統建模		計畫期程：112 年
提案單位：航空所航電組　聯絡人：林易賢　電話：(04)2702-3051#503581		

項次	項目	研究內容
一	計畫背景	本計畫屬下一代戰機開發之應用研究，包含電力系統需要的高功率三級同步啟動發電機以及發電機控制器。 以往飛機渦輪引擎在輸出機械功至發電機前，須有一啟動馬達將引擎啟動，而此啟動馬達於引擎運轉後並不再使用，無疑成為機載負擔，啟動/發電一體的整合式啟動發電機(Integrated Starter Generator, ISG)可有效降低零組件體積與重量，簡化整體電力系統架構，適合應用於航空載具。 目前所內已具備三級同步發電機本體、發電機控制器研製技術，其發電機參數、控制器參數、系統模擬分析、電路設計、發電機與控制器樣製、測試等經驗，然而所內現有技術僅具備發電機功能，尚缺啟動馬達驅動技術，因此將藉由本計畫，開發航空用三級式發電機啟動發電一體控制架構。
二	計畫目的	依據同步電機工作原理，控制功率流方向，可將同步電機操作於發電機或馬達模式。當同步電機的電壓輸出側，經由雙向控制器輸入功率，即可操作於馬達模式，啟動渦輪引擎。當同步發電機位於發電模式，由渦輪引擎帶動發電機，經由勵磁機調節主發電機轉子激磁量，即可操作於發電機模式。 本計畫目的為啟動發電機系統建模，包含發電機與具備雙向功率流的發電機控制器(Generator Control Unit, GCU)，藉由控制功率流向及大小，使其操作於起動或發電的模式。本計畫將依據三級式發電機電氣參數規格，制訂所需要的控制器參數，依據相應之規格及功能需求開發控制器韌體與硬體，透過磁電耦合模擬軟體，驗證控制電路架構。建模方式將採用等效模型，縮短模擬時間，提升模擬效率，有助於設計控制器參數與電力系統負載分析。
三	研究議題	本計畫預計分成以下主題建立啟動發電一體所需之關鍵技術: 1. 三級同步啟動發電機系統參數規格建立： 以三級式發電機作為啟動/發電一體設計，將能簡化飛機電力系統的複雜度。本計畫將研究分析國際上現行採用啟發機控制方法的優劣，並針對三級式同步發電機提出合適有效的啟動/發電一體控制方

		法，並配合對應的三級式發電機建立電路架構與系統參數，進而分析啟動與發電模式下系統特性。 2. 三級同步啟動發電機啟動/發電模式切換功能設計： 本計畫擬實現三級同步式啟動發電機的啟動控制方法與 GCU 電路整合，依照功能可操作於啟動模式與發電模式。啟動模式下，以無感測器方式實現啟動功能，搭配控制策略如轉速、轉矩特性估測等，搭配等效電機模型進行驅動控制，完成由靜止啟動至額定轉速。發電模式下，在不同的轉速與負載條件運轉時，經由控制電路的電能轉換器調節勵磁量，可達成發電機穩壓輸出。由於啟動跟發電模式的轉換將由控制器達成，啟動模式至發電模式必須自動切換，且控制架構亦須在切換過程考量整體電力系統特性，不致影響其餘電子組件，故需針對模式切換的控制架構分析與設計。 3. 三級同步啟動發電機控制電路與電機模型整合模擬分析： 由於三級同步啟動發電機非線性電感特性，本計畫將依據三級同步啟動發電機電磁場模型，於模擬軟體執行啟動發電機電磁模擬、等效分析、耦合分析，結果包含電壓波形、功率因素、暫態電流響應等特性，驗證所提控制架構符合需求。
四	運用構想	本案將開發 115VAC 的三級同步啟動發電機，目標完成(1)啟動發電機系統參數 (2)啟動/發電模式切換控制架構(3)控制電路與發電機整合分析，預期產出啟動發電機參數、控制器參數、系統模擬分析技術，後續可適用於戰機現有 115VAC 電氣系統、有人機、無人機啟動發電機電力系統開發與測試驗證。
五	技術備便水準評估	單位目前能量為 TRL1 等級，基礎原理已探討，預計本案將完成發電機系統模擬，建立關鍵功能與分析能量，完成特性的概念驗證，達到 TRL3 等級。
六	期程工項	本研究計畫為一年期計畫，工作內容在於建立發電機控制器模型，與控制法模型、驗證與相關驅動電路；並使用模擬軟體(如 ANSYS、MATLAB 等)來進行數值模擬分析。 預定進度: 1. 三級同步啟動發電機系統參數規格建立。 2. 三級同步啟動發電機啟動/發電模式切換功能設計 3. 三級同步啟動發電機控制電路與電機模型整合模擬分析 表 1、全年度經費表 研究議題(國防學合計畫)

		三級同步啟動發電機系統建模(112 年度) 分工架構如圖 1，依據本案目標”三級同步啟動發電機系統建模”進行系統規格制定，之後由合作單位進行啟動發電機系統建模、設計控制架構與系統模擬分析，我方確認執行成果之技術參數是否符合需求，並適時回饋督導研發方向，最終建立本案核心技術能量。 本案核心技術：啟動發電一體系統架構、啟動發電機系統性能整合分析能力 → 中科院航空所：啟動發電機參數制定、系統規格制定 → 學研機構：啟動發電機系統建模、設計啟動控制架構、系統模擬分析 → 中科院航空所：性能規格確認、報告審查 → 產出核心技術；審查意見回饋 圖 1、分工架構圖
八	預期成果	**完成項目：** 1. 三級同步啟動發電機系統參數規格建立，包含啟動與發電模式分析。 2. 三級同步啟動發電機啟動/發電模式切換功能設計，包含雙向電能轉換電路設計。 3. 三級同步啟動發電機控制電路與電機模型整合模擬分析，包含系統模擬分析。 **預期成果：** (1)建立耦合分析架構基礎，有助於採用自製三級式發電機，搭配控制電路執行測試驗證。 (2)提升啟動發電機控制器設計、製作及測試之能量。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部 □中科院 ■學研機構。

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:戰術模擬器之戰場型態智慧演算技術及其人機介面設計(1/3)</td><td>計畫期程：112-114年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：航空研究所模擬系統組
聯絡人：陳永祥 電話：(04)2702-3051#503780</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">有別於戰技型模擬器的訓練目標，戰術型模擬系統著重於不同武器、兵種間的協同或聯合訓練，其每回合演訓耗時較長，複雜度高且演訓想定中往往涉及種類與數量繁多的敵我目標物。電腦生成兵力(Computer Generated Force; CGF)是由電腦扮演的敵軍與友軍目標物，主要負責營造課目所需的對抗情境，其運動動態通常按實體裝備仿真建模，火力也模擬實際的武器殺傷計算方式。當 CGF 搭配上人工智慧，則將使 CGF 行為不再單調，可根據戰術原則，結合戰場環境資訊而自動決定戰術行為，成為更具有對抗性的智慧型目標物。採用智慧型目標物是當今戰術型模擬器研發的主流方向，然而在此基礎上建構演訓想定時，敵我戰力平衡與地理位置部署將因為目標物彼此之間的連動性而牽一髮動全身，不再是一加一等於二如此直觀。此外，夠智慧的目標物具有獨立思考戰術行為的能力，但其複雜行為也難以完整被預測與介入，因此可能使戰場情境偏離原本演訓目標。這也使得演訓想定預編時，通常需要反覆測試推演，才能確保戰場型態合乎作戰構想，達到訓練效果。對於智慧型目標物太聰明與不夠聰明，都各自有技術議題需要額外設計機制處理。

現階段國內自製戰術訓練模擬系統尚不具備通用型的智慧目標物技術，各模擬器採用各自發展，專屬的目標物運算模組，其人工智慧部分多數採用規則反射式演算方式，例如陸軍甲車模擬系統針對固定項目的訓練習會設計敵我目標物行為，這些目標物的行為是預編且不可改變的。坦克模擬系統採用規則反射式目標物，依照預編之規則，當符合規則的情況出現，便使目標物展現對應行為，並藉由在想定場景中安排觸發器而觸發特定事件。空軍教練機模擬系統則是提供幾項空中目標物的簡易飛行模式讓演訓教官從教官台介面選擇套用，例如直飛或繞圈模式，亦可錄下飛行員飛行之軌跡記錄，再供目標機套用展現。而海軍艦艇模擬系統則是設計教官台圖台介面提供目標物功能選項，可針對場上目標物，分別指定執行路徑點移動與武器射擊等功</td></tr>
</table>

		能。目前國軍模擬系統中的目標物演算技術大多針對控制單一實體的方式發展，較缺少針對複數目標物編隊或協同作戰方面之智慧演算，且在目標物行為調整上主要是依靠圖台介面以鍵盤與滑鼠逐一設定。 至於國際間知名的模擬器系統智慧目標物技術，常見的有下列研發方向： 1. ModSAF 系統：採用有限狀態機(FSM)技術處理連級兵力行為。 2. TacAir-Soar 系統：採用 5200 條規則庫演算，模擬個別飛行員行為。 3. OneSAF 系統：採用動態規劃法，針對 METT-T 項目(Mandate, Enemy, Terrain, Task-Time) 進行規劃演算。 直升機戰術訓練模擬器專案(HTTS)中設計以外購 BISim 公司的 Virtual Battlespace (VBS) 架構作為智慧型目標物開發之平台在系統完成並實際採用 HTTS 系統進行演訓課程時，為使各參訓單位飛行員完整執行戰術行動序列，經常遇到系統主控台戰術教官於演訓中臨時增減威脅環境兵力或火力的需求，以及面臨目標物編隊作戰行為不協調之問題。這些操作目前需要手動逐一對受影響的目標物修改，以符合戰術教官指揮意圖。這是目前應用 VBS 架構之主要限制。操作上除了耗費人力，更因耗時而影響演訓節奏流暢度。因此，如何讓敵我目標物在移動與接戰上更聰明的理解主控台戰術教官意圖，並透過自動化方式呈現所需戰場情境，是影響戰術型模擬器易用性的關鍵設計。 配合國軍前瞻發展構想以及聯合作戰趨勢，未來戰術模擬器系統將扮演更重要的演訓角色，而採用自製關鍵技術更是建立國防能量之研發精神。現階段國內戰術訓練模擬系統之智慧型目標物模組仍以購置國外技術或軟體平台進行發展為主，缺少國人自製技術。而本案所提出之研發項目，便是研發智慧型目標物與先進模擬系統之重要議題。先進模擬系統設計與產製能力是我軍未來技術發展之重點項目。在既有自製模擬系統的技術基礎上，研發具備通用型高階聯網技術之智慧型目標物模組除了可符合空軍下一代戰機演訓需求，更可進一步與其他採用相同高階聯網協定的模擬系統介接，達成聯合演訓之目標。本案據此提出「戰術模擬器之戰場型態智慧演算技術及其人機介面設計」之計畫。
二	計畫目的	讓模擬器中智慧型目標物可以更理解指揮員指令意圖，並據以進行對應的智慧演算調控是本計畫的主要目的。雖然戰場狀況本質上多變且難以掌握，但為了達到日常演訓目的，我們在戰術層次的模擬系統中，仍希望能夠建立一套方法，幫助主控台戰術教官得以精確且即時地處理訓練過程臨時需求，例如兵力部署與編隊協同作戰，並透過快速方式下達指令給 CGF 運算模組，營造符合訓練目的之情境。

本案所謂智慧演算指的是可以按使用者意圖，對模擬系統下達指揮指令，而後由指令自動解析機制將人類指令轉換成 CGF 可以處理的指令，並分別向相關 CGF 傳遞決策所需資訊，使其各自在運算後做出行為決策。指令所控制的對象可以是單一 CGF 物件，或當決策牽涉多 CGF 的合作時，則進入更複雜的演算機制而使 CGF 彼此間保持行為協調，達到整體性效果。另外，智慧演算除了協助保持決策的穩定性與一致性。在某些情況下，也希望能夠透過簡潔的操作，只賦予目標物有限度的智慧或甚至去除智慧，讓它不要太聰明且不可預測，藉以使得其行為得以被預料。

有鑑於現階段國內欠缺自製的模擬器系統智慧型目標物技術，且國外購置的智慧目標物模組在編隊協同作戰與戰場指管通聯功能上不盡符合需求，本案提出 3 年期程之研究開發計畫，預計發展智慧演算技術並提供使用者友善的指令處理介面，研發具有應用彈性的模組，可與既有的戰術訓練模擬器系統(如:直升機戰術訓練模擬系統 HTTS)整合，改善現存問題。

研發方向

依據計畫目的，本案在現有資訊技術範疇中尋找可行的研發方向，使模擬器系統中的 CGF 不但具備智慧且能夠隨時接受使用者指令介入，更特別著重於保持技術架構的擴充性與應用彈性，確保研發成果可重複利用。

戰場上的敵我互動複雜，當有一方採取作戰作為，則整體戰場型態將某程度上受到影響，而敵方及我方友軍也將藉由指管情報而採取對應措施，這是動態決策的過程。若 CGF 要被設計為可以動態反應戰場型態，則需要採用可以讓 CGF 之間互相影響的運算架構。在這種有分散計算需求以及合作工作等應用上，採用人工智慧領域基於智能體的建模(Agent-based modeling，ABM)方法是一種符合本案需求的選擇。這裡所描述的智能體是一種軟體概念，可以與所在環境互動，從環境感知輸入並輸出動作影響環境。

ABM 則是基於智能體，由底層向上的建模方法，其發展方式是：

1. 以智能體作為組成系統的基本抽象單位
2. 採用同一組智能體建構方法，建立個別智能體模型
3. 設計合適的多智能體系統(Multi-Agent System; MAS)結構，組裝串接個別智能體

4. 設置智能體之間的互動方式與協定
5. 建立串接其他分系統的系統模型

本案規劃以 ABM 概念開發戰場型態智慧演算模組，由多個智能體計算單元組成系統，並使每個智能體具有下列兩種能力：

1. 具有一定程度以上的自治能力，能在當前的戰場資訊條件下，由自身的邏輯判斷決定需要採取何種行動以達成其設計目標。
2. 擁有特別設計的方式可以與其他智能體進行互動，不只包含簡單的交換參數，更可進行結盟合作、任務分配、資源競爭、或衝突協商等社會化行為。

對於個別智能體的內部結構，則可採以下智能體模組型式進行規劃：

1. 知識規則庫: 關於自身決策領域的知識，具有應用能力，推理機制以此知識規則推理並控制其他模組。
2. 通信模組: 包括通信協定介面，計時器，訊息探測器，訊息緩衝區，訊息處理器。
3. 學習模組: 當自身決策目標和系統整體目標相衝突時，能夠服從整體目標，透過一定的案例進行訓練。
4. 動作執行與結果綜整模組: 具體執行已經提交到執行活動序列中的動作，調用相對應的模型和演算方法執行動作，並綜整提送執行的結果。

依據功能需求，MAS 將是一個包含多種智能體的環境。舉例而言，對於飛行器接戰攻擊之智慧演算，可由下列協同作戰智能體共同合作，進行演算：

1. 戰場型態判斷智能體: 依威脅目標的類型，位置，航向航速等確認威脅等級，對所有目標的威脅進行排序。
2. 任務管理智能體: 依據威脅目標的運動要素，判斷其企圖，並依照威脅程度，分配一或多個攻擊單位對其實施抗擊。
3. 飛行器攻擊決策智能體: 受領攻擊任務後，由各自的決策智能體根據威脅目標態勢和其武器裝配，制定攻擊的作戰預案。
4. 編隊決策智能體: 通過通信與其他決策智能體之間進行即時的資訊交換，透過協作模組實現協同決策。一方面對於單機難以執行的任務，透過協作共同完成，另一方面對預案間的衝突部分進行消除。
5. 指令解析智能體: 處理主控台教官關於戰術指令之介面，接收使用者對系統運行的干預，根據定性輸入解析為實際干預系統運行的精確指令，不同明確度的指令(例如不明確的”發動攻擊”與明確的”

<table>
<tr><td></td><td></td><td>對敵運輸直升機以機砲攻擊")可被解析並透過智能體的通信方法傳遞給相關的智能體。
6. 使用者介面智能體：將系統運行過程中，受使用者關注的資訊即時呈現，例如任務分配與作戰決策。

在此多智能體系統開發完成後，規劃介接至既有模擬器系統(如:直升機戰術訓練模擬器)的威脅環境模組，即時感測戰場資訊，而後結合戰場資訊，以智慧演算技術設定場上敵我目標物其移動及接戰行為，如此亦可達到調整敵我戰損與優劣態勢效果，取代原本屬於人工作業的繁瑣操作。本案初步規劃以陸軍航空特戰部隊戰術戰法為依據，針對直升機、定翼機、裝甲車、運兵車、坦克、登陸艦、飛彈快艇、地面防空武器、榴彈砲、特戰兵、傘兵等十一類戰場敵我目標物之戰術行為進行戰場實體智能體與智慧演算技術研發，而運算負載上規劃以同時管理戰場上敵我共計 500 個前述類型目標物為標準。開發成果可由既有的模擬器系統(如:直升機戰術訓練模擬系統 HTTS)進行驗證。

預期功能：
1. 模組可與既有模擬系統介接，即時控制演訓中之目標物
2. 指令輸入模組可接受並處理不同明確程度的指令
3. 可依指令進行智慧演算，對目標物的編隊移動進行調整控制
4. 可依指令進行智慧演算，對目標物的編隊接戰進行調整控制
5. 可依指令而調整敵我戰損與戰場型態優劣
6. 戰術指令可按照高階兵棋推演所規範的個體層級(Entity Level)或單位層級(Aggregate Level)下達</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td>本案所研發之智慧演算技術主要以兩大軟體項目為產出成果：

1. 多智能體戰場型態演算軟體
2. 可解析戰術指令之人機互動介面軟體

其中多智能體戰場型態演算軟體包含了十一類戰場實體智能體以及六類協同作戰智能體的結構設計與功能研發，各智能體結構包括知識規則庫模組、通信模組、學習模組、動作執行與結果綜整模組等項。而可解析戰術指令之人機互動介面軟體則包括教官台指令接收介面設計，以及指令解析、確認與傳遞運算機制設計。本案兩項軟體成果將設計為通用型模組，具有明確定義的輸出入介面。可串接應用至未來其他中科院自製戰術演訓模擬系統。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>本案主要研究議題包括：
1. 陸軍航空特戰部隊戰術戰法蒐整與研析
2. 智能體的建模理論研究與可行性分析
3. 戰場型態判斷、任務管理、飛行器攻擊決策、編隊決策、指令解析、使用者介面等通用型智能體結構設計
4. 多智能體的合作機制與組織架構設計
5. MAS 的求解框架與求解方法之設計
6. 設計基於目標物動態模型的地面載具移動演算法
7. 設計飛行器攻擊等目標物戰鬥編組的接戰與傷害智慧演算
8. 設計可搭配智慧演算技術之人機介面</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>先進模擬系統設計與產製能力是我軍未來技術發展之重點項目。在既有自製模擬系統的技術基礎上，研發具備通用型高階聯網技術之智慧型目標物模組除了可符合空軍下一代戰機演訓需求，更可進一步與其他採用相同高階聯網協定的模擬系統介接，達成聯合演訓之目標。考量我軍自製模擬系統相關智慧型目標物驗測平台現階段之備便程度，本案先期規劃以系統功能完整且同屬飛行器之直升機戰術訓練模擬器平台實施技術驗測。待完成戰場型態智慧演算技術及其人機介面設計後，首先可運用於直升機戰術訓練系統中具代表性、且戰場目標物數量多之台南地區反空機降演訓想定，提供既有的演訓想定戰場型態演算調控之功能，並評估其效用。而後續可進一步應用於整體直升機戰術訓練系統之全般想定戰題中。本案成果亦具有多重應用可能性，除可作為戰術教官控制戰場型態之用，另一方面則可作為戰術指揮管制訓練之用。本案短中長期運用之構想如下：

1. 短期運用於直升機戰術演訓模擬系統，加入戰術教官戰場型態控制介面。
2. 中期規劃為三軍種戰術模擬器研發之標準功能模組。
3. 長期橫向應用於三軍聯合作戰戰術模擬系統與高階兵棋推演系統之指揮管制訓練。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>針對戰場型態智慧演算及其人機介面設計之功能規格，本案擬定驗測門檻值及目標值為發展目標，門檻值係以滿足直升機戰術訓練系統之台南地區反空機降演訓想定為目標，目標值則為滿足直升機戰術訓練系統整體全般演訓想定之需求。本系統關鍵技術研發後之 TRL 目標值為 TRL5。

各年度之驗證目標值與驗測執行規劃如下：
112 年</td></tr>
</table>

		技術試作評估：針對十一類戰場實體智能體之功能進行評估，使戰場實體可以在模擬系統上展現個別接戰、移動與傷害調整功能。 113 年 門檻驗測：針對六類協同作戰智能體的結構設計與功能進行評估，且搭配本案可解析戰術指令之人機互動介面作為指令輸入管道，使戰場實體可以在模擬系統上展現協同作戰、編隊移動與傷害調整功能。同時運用本案智慧演算方法於直升機戰術訓練系統之反空機降演訓想定驗測，本年度技術研發後之 TRL 目標值為 TRL4。 114 年 目標驗測：邀請飛行教官擔任測試測試員，並應用本案方法於直升機戰術訓練系統之全般想定驗測，進行本案全功能驗測。驗測項目以能夠匹配現有採用外購智慧目標物模組之直升機戰術訓練模擬系統內，目標物移動、接戰與傷害控制功能為標準。並在相同的目標物控制操作項目上，比較教官台操作手進行指揮管制所耗時間，以減少人力操作時間為通過驗測之目標。，本年度技術研發後之 TRL 目標值為 TRL5。
六	期程工項	本案預劃以三年期程發展戰場型態智慧演算技術及其人機介面設計，中科院擔任需求方，提供需求分析、技術規格擬定、技術試作評估、模組功能之門檻驗測、系統整合之目標驗測等輔助。學校方則依據需求分析與規劃，執行智慧演算技術開發與人機介面設計，詳細分工架構與時程如下圖所示。

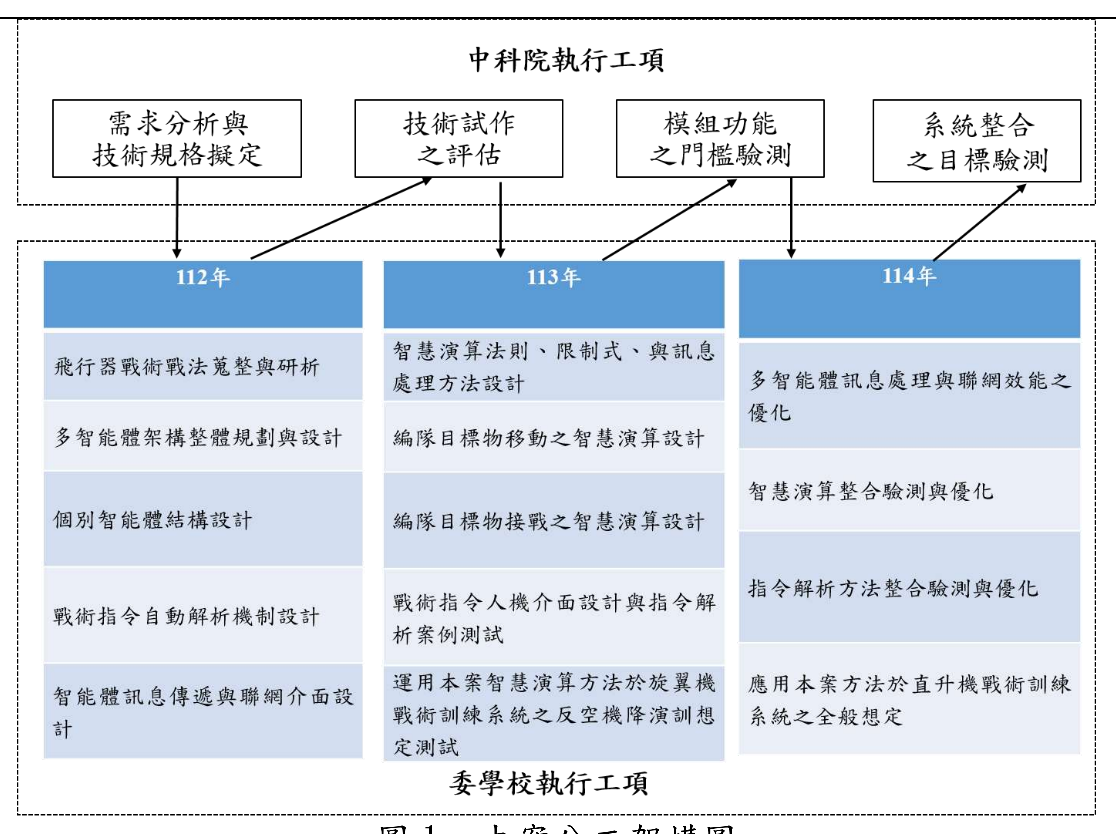


圖 1. 本案分工架構圖

112 年工項

研究議題 (國防學合計畫)
議題一: 飛行器戰術戰法蒐整與研析
議題二: 多智能體架構整體規劃與設計
議題三: 個別智能體結構設計
議題四: 戰術指令自動解析機制設計
議題五: 智能體訊息傳遞與聯網介面設計

113 年工項

研究議題 (國防學合計畫)
議題一: 智慧演算法則、限制式、與訊息處理方法設計
議題二: 編隊目標物移動之智慧演算設計
議題三: 編隊目標物接戰之智慧演算設計

<table>
<tr><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>議題四：戰術指令人機介面設計與指令解析案例測試</td></tr>
<tr><td>議題五：運用本案智慧演算方法於直升機戰術訓練系統之反空機降演訓想定驗測</td></tr>
</table>

114 年工項
<table>
<tr><th>研究議題 (國防學合計畫)</th></tr>
<tr><td>議題一：多智能體訊息處理與聯網效能之優化</td></tr>
<tr><td>議題二：智慧演算整合驗測與優化</td></tr>
<tr><td>議題三：指令解析方法整合驗測與優化</td></tr>
<tr><td>議題四:應用本案方法於直升機戰術訓練系統之全般想定驗測</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>1. 設計一套通用型戰術行為多智能體架構,並完成以智慧演算為目的之六類協同作戰智能體的結構設計與功能研發。
2. 以陸軍航空特戰部隊戰術戰法為依據,針對直升機、定翼機、裝甲車、運兵車、坦克、登陸艦、飛彈快艇、地面防空武器、榴彈砲、特戰兵、傘兵等十一類戰場敵我目標物之戰術行為進行智慧演算技術研發。
3. 建構一套可搭配智慧演算技術之指令輸入介面，解析指令意圖，處理目標物移動、接戰與敵我戰損優劣態勢等三大類戰場型態調整控制。
4. 完成戰場型態智慧演算之研發,節省戰術教官在演訓過程 80%的人力操作成本。</td></tr>
<tr><td>九</td><td>研發成果歸屬</td><td>本計畫研發成果歸屬：□國防部 □中科院 ■學研機構。</td></tr>
</table>

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

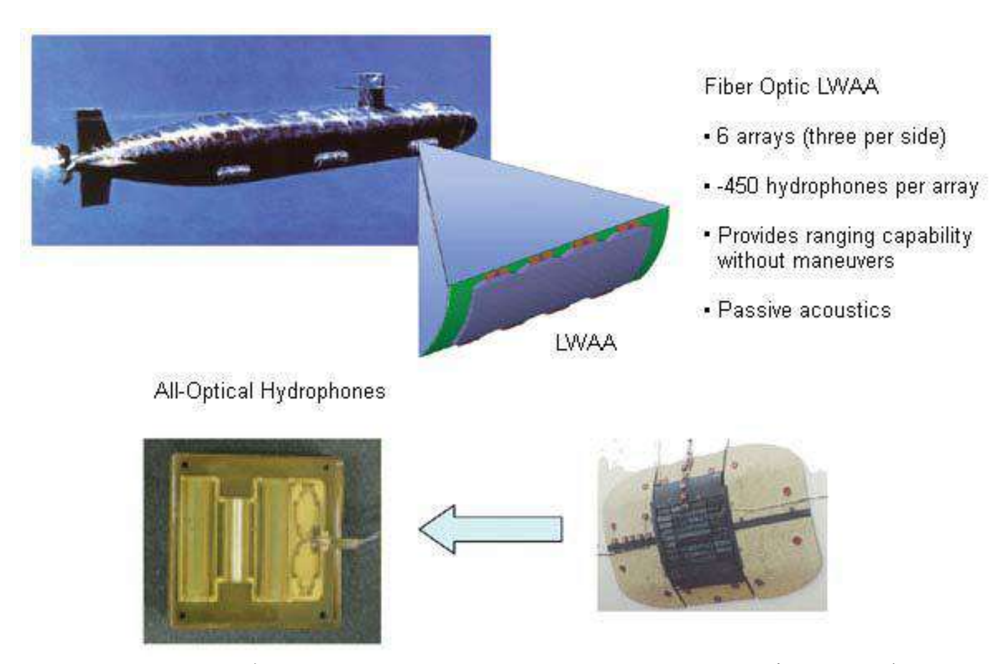
<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:光學干涉型之光纖式水聽器的模擬與驗證(1/2)</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：飛彈所導航系統組 聯絡人： 彭子軒 電話：(03)4712201# 356430</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">一、研究動機
有鑒於中共的潛艦艦隊持續壯大，對我國的國防威脅程度逐漸升高，本案為發展水下偵知系統之光纖式水聽器關鍵技術，以強化我國的沿海防禦，防範中共的水下潛艦或自走雷突襲。

二、國內外技術現況及發展趨勢
<u>光纖水聽器</u>是基於光纖光學干涉原理的一種新式水聽器，相較於現有壓電陶瓷水聽器 (如表一)，具有電功率消耗低、重量輕、孔徑小、訊號雜訊比高、感測端易維護(無電子元件)......等優點，光纖水聽器更適合製成大規模水聽器陣列系統。

表一 光纖水聽器與傳統壓電陶瓷水聽器比較
<table>
<tr><td></td><td>光纖水聽器</td><td>壓電陶瓷水聽器</td></tr>
<tr><td>優點</td><td>1. 電功率消耗較低 (電子元件少)，水聽器感測頭內無電子元件。
2. 重量較輕，感測孔徑較小。
3. 量測動態範圍較大(120 dB~140 dB)。
4. 靈敏度高，可達-131 dB re 1V/uPa [11]
5. 不易被電磁干擾。</td><td>1. 技術成熟，市售產品種類多。</td></tr>
<tr><td>缺點</td><td>1. 技術管制，市售產品多為商用的低階規格。</td><td>1. 電功率消耗較高 (電子元件多) 。
2. 重量較重，感測孔徑較大。
3. 量測動態範圍較小 (80 dB~90 dB)。</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

		4. 靈敏度有限制，約-165 dB re 1V/uPa [1] 5. 易被電磁干擾。

光纖式水聽器自 1988 年美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)發表研究報告，已被運用於美、英、法、日、澳等各國水下偵知系統上，並隨著光纖感測技術的進步，至今仍有相關學術論文產出。光纖式水聽器技術以美國最為領先，且已取代傳統壓電陶瓷式水聽器作為水下偵知的主要感測器，2002 年美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)與英國 QinetiQ 公司合作研製海底固定陣列(Fiber Optic Bottom Mounted Array, FOBMA)系統，其系統設計的工作水深大於 300 m，工作時間大於 1 年，這個系統被裝置於加拿大 Halifax, Nova Scotia 的海岸，在水深條件 50 m 下，在 40 km 遠端傳輸距離的情況下，實際探測距離達到 9 km。除了 FOBMA 系統以外，美軍的維吉尼亞級潛艇也是採用光纖式水聽器陣列作為側視艦體聲納，名為「輕重量廣孔徑陣列」（Lightweight Wide Aperture Array, LWWAA），其在潛艇的兩側各安裝 3 個平面陣列，每個陣列約有 450 個光纖式水聽器，以實現高性能的被動聲音探測。



圖一、維吉尼亞級潛艇的側視艦體輕重量廣孔徑陣列

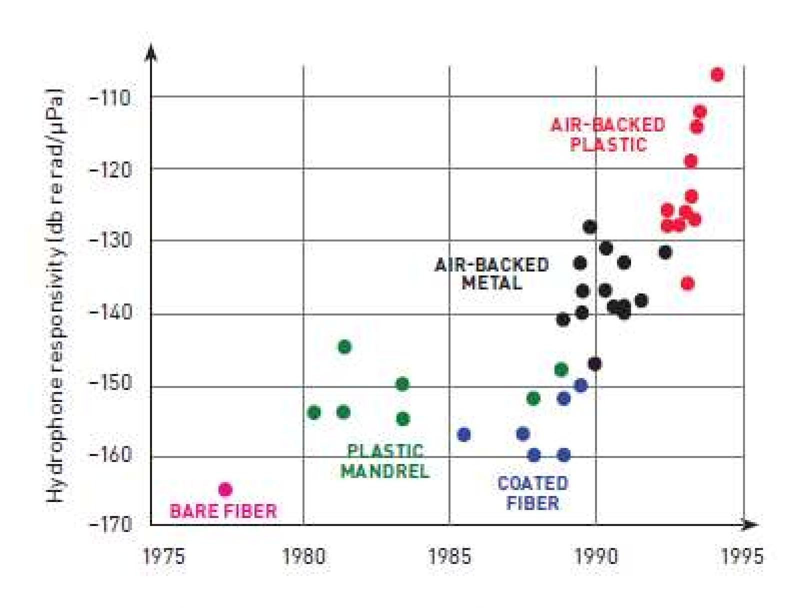
中國在光纖式水聽器技術上也是積極發展，2018 年中國電科第 23 所，於中國國際國防電子展展出光纖式水聽器的拖曳式聽音陣列，利用遠洋拖船拖曳 800 m 長的陣列聲納，將原始數據即時透過衛星資料鏈傳回本土進行分析。

國外光纖式水聽器感測技術研究，其訊號擷取方法發展先後為光纖光柵(Fiber Bragg grating, FBG)，馬赫詹德(Mach-Zehnder)光纖干涉儀，桑亞克(Sagnac)光纖干涉儀，光纖雷射，雷利(Rayleigh)後向散射光纖感測儀等感測技術，相關已發表的靈敏度、驗證頻率範圍、量測動態範圍，與雜訊等參數如表二所示，以小型化、輕量化、高靈敏度，與高可靠性為發展趨勢：

表二光纖式水聽器技術比較表

訊號擷取方法	Fiber Bragg grating	Mach-Zehnder	Sagnac	Fiber Laser	Rayleigh Backscatter
Sensitivity (dB re 1V/uPa)	-160 [6]	-143 [8]	-159.86 [2]	-140 [4]	-131 [11]
Frequency response (Hz)	80 Hz-1.25 kHz [6]	20 Hz~1.6 kHz [8]	10 Hz~10 kHz [2]	20 Hz~20 kHz [5]	1 Hz~1 kHz [11]
dynamic range (dB)		116 dB [8]	173 dB [2]		
Noise ($dB\ re\ V/\sqrt{Hz}$)		-90 [10]	-100 [7]	-55dB(ref：1uPa/rt-Hz @1 kHz) [3]	

根據 2019 年諾格公司的公開產品資料[9]，光纖式水聽器的封裝技術是提升靈敏度的重要研究項目之一，如圖二所示，隨著封裝材料的改進，靈敏度由 1977 年至 1994 年進步了約 50 dB。



Evolving response. Evolution of fiber hydrophone responsivity from the bare fiber coil, to coated fiber, to various mandrel designs, to the air-backed plastic mandrel. A. Dandridge

圖二 光纖式水聽器感測頭封裝技術與靈敏度的演進圖

三、參考文獻

[1] Compatible hydrophones with underwater listening systems

[2] (2007)Study on Sagnac fiber-optic hydrophone

[3] (1988)Specification for fiber optic hydrophone system

[4] (2015)Recent progresses in fiber laser hydrophone

[5] (2012)High performance four-element DFB fiber laser hydrophone array system

[6] (2004)Principle and applications of the fiber optic hydrophone

[7] (2013)Study on several key technologies of interferometric fiber optic hydrophone array system based on heterodyne detection scheme

[8] (2007)Research on fiber optic hydrophone used for towed line array

[9] (2019)Fiber optic interferometric sensors at sea

[10] Research on noise character based on matched interferometric fiber optic hydrophone array

[11] (2020)High performance das-based optical fiber hydrophone

二	計畫目的	國內的高靈敏度的光纖式水聽器陣列技術相關研究較少，雖有部分在實驗室空氣中有間接研究成果，但多為無封裝的散裝架構，故不具備水中高靈敏度與串接陣列技術的條件，經評估技術備便水準，應處於 TRL2 技術概念階段。 本計畫目的是規劃在二年期間，建立高靈敏度的光纖式水聽器陣列的主

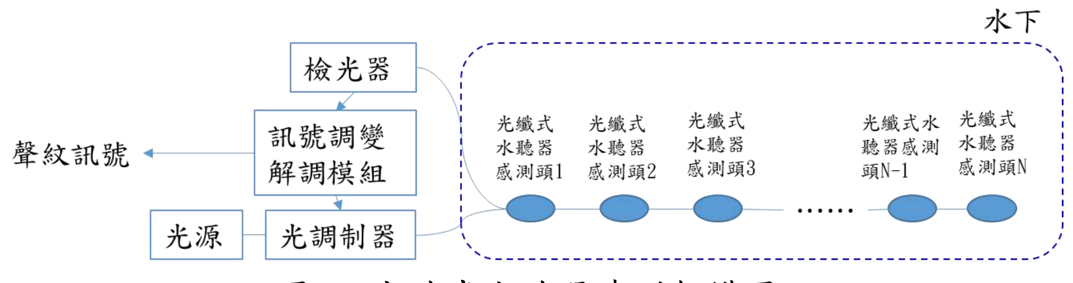
要技術，包含：光纖式水聽器感測頭設計，光纖式水聽器感測頭訊號調變方法。

全案分年目標如下：
第一年：完成光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立
第二年：完成陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證

三　研究議題

一、計畫架構

研發項目分為議題一光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立、議題二陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證等，各議題間之關係如計畫架構圖(圖三)所示。



圖三　光纖式水聽器陣列架構圖

本計畫目的是規劃在二年時間內，完成光纖式水聽器的訊號調變方法研究、模擬程式建立、與實驗室環境下的訊號調變方法之驗證。

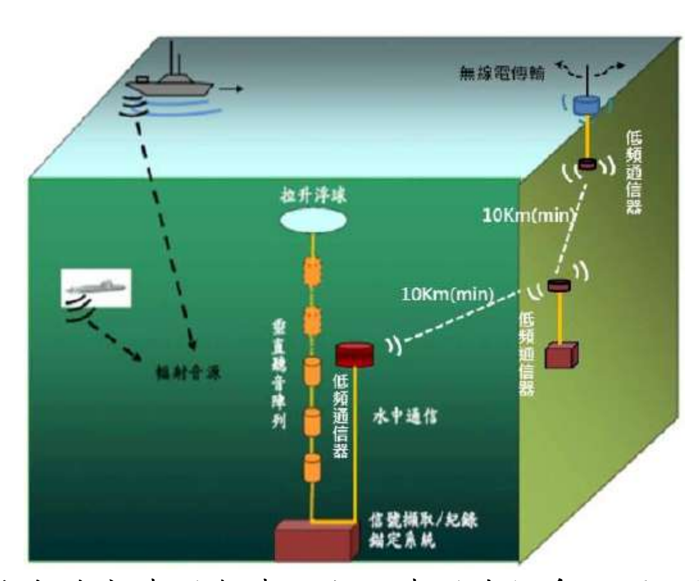
1. 第一年研究內容如下：
   (1) 光纖式水聽器的訊號調變方法研究與模擬程式建立，在感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz，系統相位噪聲<1 μrad/$\sqrt{\ }$Hz，當感測頭串接數量>100 個時，探討光路拾音(pick-up)抑制方法研究，與寄生光路雜訊抑制方法。
   (2) 光纖式水聽器之感測頭模擬分析，研討光路架構與包覆材質的選項，滿足感測壓力響應>-150 dB (rad/μPa)，與加速度靈敏度<-30 dB。
   (3) 遞交「光纖式水聽器訊號調變研究與感測頭模擬分析報告」與「光纖式水聽器訊號模擬程式(第一版)」

2. 第二年研究內容如下：
   (1) 小型陣列光纖式水聽器之實驗室水槽(低逼真度)驗證，實作感測頭串接數量>10 個時，驗證訊號調變方法，滿足系統相位噪聲<1 μrad/$\sqrt{\ }$Hz
   (2) 遞交「光纖式水聽器訊號調變方法驗證報告」與「光纖式水聽器訊號模擬程式(第二版)」

四 運用構想

本案研製的光纖式水聽器未來可應用於國防領域，參考國外國防應用，例如：艦用拖式聽音陣列、岸基聽音陣列(如圖四)、垂直聽音陣列(如圖五)或潛艦用側視艦體聲納(如圖一)等系統，並有學術研究與防災應用，例如：海洋地震偵測與分析等。

圖四、岸基聽音陣列與水下網路體系作戰示意圖



圖五、垂直聽音陣列與遠距水下陣列偵知系統運用概念架構

<table>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>第一年完成光纖式水聽器的模型建立與分析工作後，技術概念即能被明確闡述，評估達到TRL2
第二年完成陣列光纖式水聽器之實驗室水槽(低逼真度)驗證後，對關鍵功能即能進行分析與實驗，評估達到TRL4</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>一、議題分工及期程規劃
本案議題分工及期程規劃為 112 年研究光纖式水聽器的光學架構，建立光學干涉模型，與對應的訊號調變模型，並藉由模擬分析評估光纖式水聽器的雜訊，以上確認光學架構後，並模擬分析感測頭的封裝設計，評估水聲感測的靈敏度；待 112 年確認光纖式水聽器的感測頭架構後，113 年將光纖式水聽器串聯在一起，形成光纖式水聽器陣列，並架構實驗室水槽(低逼真度)驗證的測試平台，驗證小型陣列光纖式水聽器的初步性能。

<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
<tr><td rowspan="4">光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立</td><td>光纖式水聽器的訊號調變模型建立</td><td>112</td><td>建立光纖式水聽器的訊號調變模型與模擬程式</td></tr>
<tr><td>光纖式水聽器的光學干涉模型建立</td><td>112</td><td>建立光纖式水聽器的光學干涉數學模型與模擬程式</td></tr>
<tr><td>光纖式水聽器的雜訊分析</td><td>112</td><td>評估光纖式水聽器的系統雜訊</td></tr>
<tr><td>光纖式水聽器之感測頭模擬分析</td><td>112</td><td>設計與模擬光纖式水聽器的封裝方式或機構，並評估水聲壓力的感測靈敏度</td></tr>
<tr><td rowspan="3">陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證</td><td>陣列光纖式水聽器之訊號調變實作</td><td>113</td><td>在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之訊號調變</td></tr>
<tr><td>陣列光纖式水聽器之光路製作</td><td>113</td><td>在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之光路</td></tr>
<tr><td>小型陣列光纖式水聽器之實驗室驗證</td><td>113</td><td>在實驗室水槽(低逼真度)環境下，驗證小型陣列光纖式水聽器之性能</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

二、成果產出及需求規格

項次	產出品項	類別(報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	光纖式水聽器訊號模擬程式(第一版)	軟體	1 套	模擬程式需能評估以下性能： 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為<1 μrad/$\sqrt{Hz}$ 3. 感測壓力響應設計>-150 dB (rad/μPa) 4. 加速度靈敏度<-30 dB
2	光纖式水聽器訊號模擬程式(第二版)	軟體	1 套	模擬程式需能評估當感測頭串接數量>10 個與>100 個時，以下系統性能： 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為<1 μrad/$\sqrt{Hz}$ 3. 感測壓力響應設計>-150 dB (rad/μPa) 4. 加速度靈敏度<-30 dB
3	光纖式水聽器初步設計報告	報告	1 份	報告應包含以下研究內容與評估方式說明： 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為<1 μrad/$\sqrt{Hz}$ 3. 感測壓力響應設計>-150 dB (rad/μPa) 4. 加速度靈敏度<-30 dB 5. 當感測頭串接數量>10 個與>100 個時，光路拾音(pick-up)抑制方法研究，寄生光路雜訊抑制方法研究。
4	光纖式水聽器訊號調變方法驗證報告	報告	1 份	報告應包含以下驗證內容與評估方式說明： 1. 感測頭串接數量>10 個 2. 實驗室水槽(低逼真度)環境測試驗證

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3. 系統相位噪聲$<1\ \mu rad/\sqrt{Hz}$</td></tr>
</table>

三、驗測方式規劃
本案共計有 2 項軟體與 1 項實驗室驗證，對應成果產出之項次 1、項次 2，與項次 4，其驗測方式規劃如下：
<table>
<tr><th>項次</th><th>驗證方式</th></tr>
<tr><td>1、2</td><td>需和相關文獻之圖表比對，以驗證模擬程式的正確性</td></tr>
<tr><td>4</td><td>在實驗室水槽(低逼真度)環境下，以振動源進行實驗，可先在空氣中模擬實驗後，在水中進行驗證，比對振動源和水聽器的時域訊號與頻域分析，須滿足所有串接感測頭(>10 個)皆能擷取振動訊號，以及系統相位噪聲$<1\ \mu rad/\sqrt{Hz}$</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>八</td>
<td>預期成果</td>
<td>本案完成後將建立國內光纖式水聽器的光學與訊號調變的研究能量，並配合光纖式水聽器的光路製作，完成小型陣列光纖式水聽器的實驗室水槽(低逼真度)驗證。未來配合中科院製造技術與驗證能量，將光纖式水聽器陣列之 TRL 逐步增進，以期建立國內水下偵知系統之光纖式水聽器關鍵技術。</td>
</tr>
<tr>
<td>九</td>
<td>研發成果歸屬</td>
<td>本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。</td>
</tr>
</table>

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：全球導航衛星系統可控場形抗干擾天線技術研究			計畫期程：112-114 年
提案單位： 飛彈所導航系統組 聯絡人：孫志成			電話：(03)471-2201#356509
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	為提升系統導航、定位抗干擾能力，增加導航信號處理等相關電戰防護能力作為，發展可控場形抗干擾天線技術能量技術，增強衛星導航裝備之抗干擾能力，提供載具更強健與可靠之導航，確保精準打擊之聯合制壓戰力。	
二	計畫目的	本計畫規劃 3 年期程，分年完成全球導航衛星系統可控場形抗干擾天線技術能量發展，由導航組所設定干擾場景，律定三項子議題委學校進行深入研究，將可行的抗干擾演算法依序進行評估、模擬與實踐等階段，透過不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體，於實驗室下驗證抗干擾性能與模擬的抗干擾能力相符，達成強化衛星接收感測器的抗干擾能力，提升衛星導航接收機在蓄意干擾下的可用度。	
三	研究議題	本計畫規劃 3 年期程，分年完成全球導航衛星系統可控場形抗干擾天線技術能量發展的三項子議題依序進行評估、模擬與實測等階段，透過不具代表性的商購現貨(COTS)開發板硬體(須符合本組規劃運用之同廠牌 IC)，於實驗室下驗證抗干擾性能與模擬的抗干擾能力相符，達成強化衛星接收感測器的抗干擾能力目標，並以 4 陣列天線單元以上之設計條件進行以下研究議題。 1. 研究子議題(1)「陣列天線波束指向技術」： 可控場形抗干擾天線的首要任務是消除干擾訊號威脅，但對於衛星訊號而言，可進一步評估藉由陣列天線增強衛星訊號，於干擾抑制同時，對每一顆可見衛星提供單獨的最佳增益權重向量，合成的數位訊號輸出專門提供該衛星訊號，供衛星接收機搜尋和鎖定用，不同的衛星有不同的專門合成數位訊號與介面可用，達到最佳技術運用效用。 2. 研究子議題(2)「空時適應干擾消除」 對於干擾訊號消除，除了運用 N 個天線對於空間中不同方位的 N-1 個干擾源進行干擾消除，也要對於不同頻率的連續波(CW)干擾進行消除，避免演算法失去自由度(degree of freedom)，空時適應(space time adaptive processing)干擾消除演算法可以使用 1 個訊號	

<table>
<tr><td></td><td></td><td>處理同時達成 2 個目標。
3. 研究子議題(3)「同調與愚弄訊號消除」:
對於多個干擾源協調發射干擾訊號，使接收到的不同方位的干擾訊號具有同相位或固定相位差，低空載具遇到海面反射的干擾訊號也具有類似效應，目前的干擾消除演算性能會變差，國外早有研究可行的解決方案，藉由本案獲得具體可行的演算法。基於衛星一般處於高仰角而愚弄裝置處於低仰角發射誘導假訊號，故利用天線陣列分辨訊號來源之方位可提供愚弄裝置偵測之參考，惟愚弄訊號屬於頻譜匹配式寬頻訊號，其訊號強度亦較接近真實訊號，故偵測的靈敏度需進行評估。基於愚弄 GNSS 訊號源皆透過同一顆天線播送，此特性假設下可進一步利用陣列天線的技術來評估辨識愚弄訊號的發生與來源的可行性，並進一步排除與持續鎖定真實衛星訊號。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>長射程載具對於導航系統的需求，分為(1)台灣海峽上空、(2)深入內陸、(2)終端導引等 3 個應用場景。本研究的運用構想，目標是滿足長射程載具在(1)台灣海峽上空、(2)深入內陸等「中途導引」的衛星輔助導航需求。本案擬與具備衛星接收機研製能力且有雛型件實體驗證之民間學術界合作，由理論之先期開發、實作與功能驗證，進而將研究成果運用實現於本院計畫，縮短院內研發時程。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>至 114 年底，研究子議題(1)~(3)所列計數項目，達成 TRL4。
基於 4 陣列天線單元以上之設計條件進行：
研究子議題(1)「陣列天線波束指向」。
研究子議題(2)「空時適應干擾消除」。
研究子議題(3)「同調與愚弄訊號消除」。
查核點:
(第 1 年)模擬分析報告與模擬軟體原始碼
(第 2 年)設計報告、模組內軟體原始碼與硬體平台功能展示
(第 3 年)技術設計與測試相關報告、技術設計程式原始碼、功性能測試驗證硬體平台展示。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>填寫說明：請分年列述預劃工項，若涉及實體產出，應律定測試驗證方式。

112 年工項
研究子議題(1)「陣列天線波束指向」
<table><tr><td>子議題工作內容</td><td>4 天線陣列天線以上波束指向「技術的文獻探討、技術評估與模擬分析」。</td></tr><tr><td>年度產出標的</td><td>演算法則的模擬，產出報告與模擬軟體。
(1)研究書面報告(含模擬分析相關結果)。</td></tr></table></td></tr>
</table>

	(2)模擬分析程式原始碼。
驗證	驗證目標值:「模擬結果」可呈現增強衛星訊號 6dB 以上。 驗證方式:在電腦執行模擬分析程式。

研究子議題(2) 「空時適應干擾消除」

子議題工作內容	4 天線陣列天線以上空時適應干擾消除的「文獻探討、技術評估與模擬分析」。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含模擬分析相關結果)。 (2)模擬分析程式原始碼。
驗證	驗證目標值:「模擬結果」可呈現消除干擾 25dB 以上。 驗證方式:在電腦執行模擬分析程式。

研究子議題(3) 「同調與愚弄訊號消除」

子議題工作內容	4 天線陣列天線以上同調與愚弄訊號消除的「文獻探討、技術評估與模擬分析」。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含模擬分析相關結果)。 (2)模擬分析程式原始碼。
驗證	驗證目標值:「模擬結果」可呈現消除同調與愚弄訊號 5dB 以上。 驗證方式:在電腦執行模擬分析程式。

113 年工項

研究子議題(1)「陣列天線波束指向」

子議題工作內容	4 天線陣列天線以上陣列天線波束指向技術的「設計開發與硬體評估」。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含模擬分析與設計相關報告、硬體規劃評估資料)。 (2)技術設計程式原始碼。 (3)硬體平台一套
驗證	驗證目標值:可於「硬體平台」上呈現增強衛星訊號「功能」。 驗證方式:將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體,於實驗室進行功能測試。

研究子議題(2) 「空時適應干擾消除」

子議題工作內容	4 天線陣列天線以上空時適應干擾消除「技術的設計開發與硬體評估」。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含模擬分析與設計相關報告、硬體規劃評估資料)。 (2)技術設計程式原始碼。 (3)與子議題(1)共用之硬體平台一套
驗證	驗證目標值:可於「硬體平台」上呈現干擾消除「功能」。 驗證方式:將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體,於實驗室進行功能測試。

研究子議題(3) 「同調與愚弄訊號消除」

子議題工作內容	4天線陣列天線以上同調與愚弄訊號消除「技術的設計開發與硬體評估」
年度產出標的	(1)研究書面報告(含模擬分析相關結果)。 (2)模擬分析程式原始碼。 (3)與子議題(1)共用之硬體平台一套
驗證	驗證目標值：具有同調與愚弄訊號消除「功能」。 驗證方式：將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體，於實驗室進行功能測試。

114年工項

研究子議題(1)「陣列天線波束指向」

子議題工作內容	4天線陣列天線以上陣列天線波束指向技術的硬體實踐、展示與驗證測試。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含技術設計與測試相關報告)。 (2)技術設計程式原始碼。 (3)測試驗證硬體平台一套。
驗證	驗證目標值：可於「測試驗證硬體平台」上展示增強衛星訊號3dB以上。 驗證方式：將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體，於實驗室下驗證波束指向規格。

研究子議題(2)空時適應干擾消除

子議題工作內容	4天線陣列天線以上空時適應干擾消除技術的硬體實踐、展示與驗證測試。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含技術設計與測試相關報告)。 (2)技術設計程式原始碼。 (3)與子議題(1)共用之測試驗證硬體平台一套。
驗證	驗證目標值：可於「測試驗證硬體平台」上展示消除干擾20dB以上。 驗證方式：將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨(COTS)的開發板硬體，於實驗室下驗證干擾消除規格。

研究子議題(3)同調與愚弄訊號消除

子議題工作內容	4天線陣列天線以上同調與愚弄訊號消除技術的硬體實踐、展示與驗證測試。
年度產出標的	(1)研究書面報告(含技術設計與測試相關報告)。 (2)技術設計程式原始碼。 (3)與子議題(1)共用之測試驗證硬體平台一套。
驗證	驗證目標值：可於「測試驗證硬體平台」上展示消除同調與愚弄訊號3dB以上。 驗證方式：將程式原始碼載入到不具代表性商購現貨

<table>
<tr><td></td><td></td><td><table><tr><td></td><td>(COTS)的開發板硬體，於實驗室下驗證同調與愚弄訊號消除規格。</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>本案分三年期完成，並基於 4 陣列天線單元以上之設計條件進行，預期每年可獲得「陣列天線波束指向」、「空時適應干擾消除」、「同調與愚弄訊號消除」三項技術的執行成果與交付標的如下：
第一年：研究書面報告(含模擬分析相關結果)、模擬分析程式原始碼。
第二年：研究書面報告(含模擬分析與設計相關報告、硬體規劃評估資料)、技術設計程式原始碼，可展示功能之硬體平台一套
第三年：研究書面報告(含技術設計與測試相關報告)、技術設計程式原始碼、可展示功能與性能驗證硬體平台

藉由民間學術界合作，由理論之先期開發、實作與功能驗證，進而將研究成果運用實現於本院計畫，可大幅縮短院內研發時程。而本案之研究成果可以搭配現有的衛星接收感測器使用，提升衛星導航系統應用的抗干擾容限，補足尚待強化的功能，提高衛星輔助導航裝置於蓄意干擾下的可用度。本案研究成果可應用至各式陸用、海用、空用載具之衛星導航裝置上，提升抗干擾能力。</td></tr>
<tr><td>九</td><td>研發成果歸屬</td><td>本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。</td></tr>
</table>

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：星群軌道最佳化導控方法研究(1/2)		計畫期程：112-113年
提案單位：飛彈所導控系統組　聯絡人：謝育澤　電話：(03)471-2201#356586		
項次	項目	研究內容
一	計畫背景	近年來世界上多國政府及民間，均積極發展低軌道衛星(LEO)之星群建置，以此概念建立高覆蓋率的衛星通訊，提供5G/6G或WIFI的通訊服務，例如SpaceX的Starlink(WIFI已開台服務)、Amazon的Kuiper、微軟的 Kymeta、中國的千乘、星時代、天啟計畫、中華電研究所的相關計畫等等。而其中的星群軌道(高覆蓋率、省能量或冗餘(redundant))最佳化之方法研究、一箭多星佈放衛星軌道研析、各衛星軌道導控系統等等，是星群實踐上必須建立之技術能量。
二	計畫目的	本計畫的目的是規劃在兩年的時間內，研究全壽期星群佈置之演算法擇優選定、探討、建立及模擬，主要分為如下目的。 1. 針對我國區域通訊或偵照之覆蓋率軌道最佳化研究，推導覆蓋率與衛星軌道配置及數量關係之非線性動態方程式。 2. 接續軌道規劃，推導限制條件下之一箭五星最佳配當，以省能量的規劃達到衛星佈署。 3. 星箭分離後，長時連續低推力(省能量)最佳化衛星變軌的各種演算法探討、擇優、建立及模擬。 4. 星群全壽期導控可靠度及冗餘(redundant)方法研析。
三	研究議題	本計畫以LEO小型衛星為研究標的，針對於我國時間、空間條件下，以國外星群通訊系統(如:StarLink)為參考基礎，研究全壽期之星群導控系統，其研究議題分為兩年度，如下說明: 1. 第一年(112年)，預計完成以下工作： (1) 針對我國區域，研究視角(FOV)60度且達到全時通訊目的下之多星系最佳化軌道的演算法，並經擇優分析後開發。 (2) 建立開發模擬所需之太空全數模模擬環境並與STK(Satelite Tool Kit)軟體進行模擬結果比較與分析。 (3) 研究長時連續低推力(省能量)最佳化衛星變軌的演算法，選用當前常用之低推力系統為假設，並經擇優分析後開發。 2. 第二年(113年)，研究議題如下： (1) 依星群佈置需求，研究開發一箭五星配當最佳化方法，並以此為全

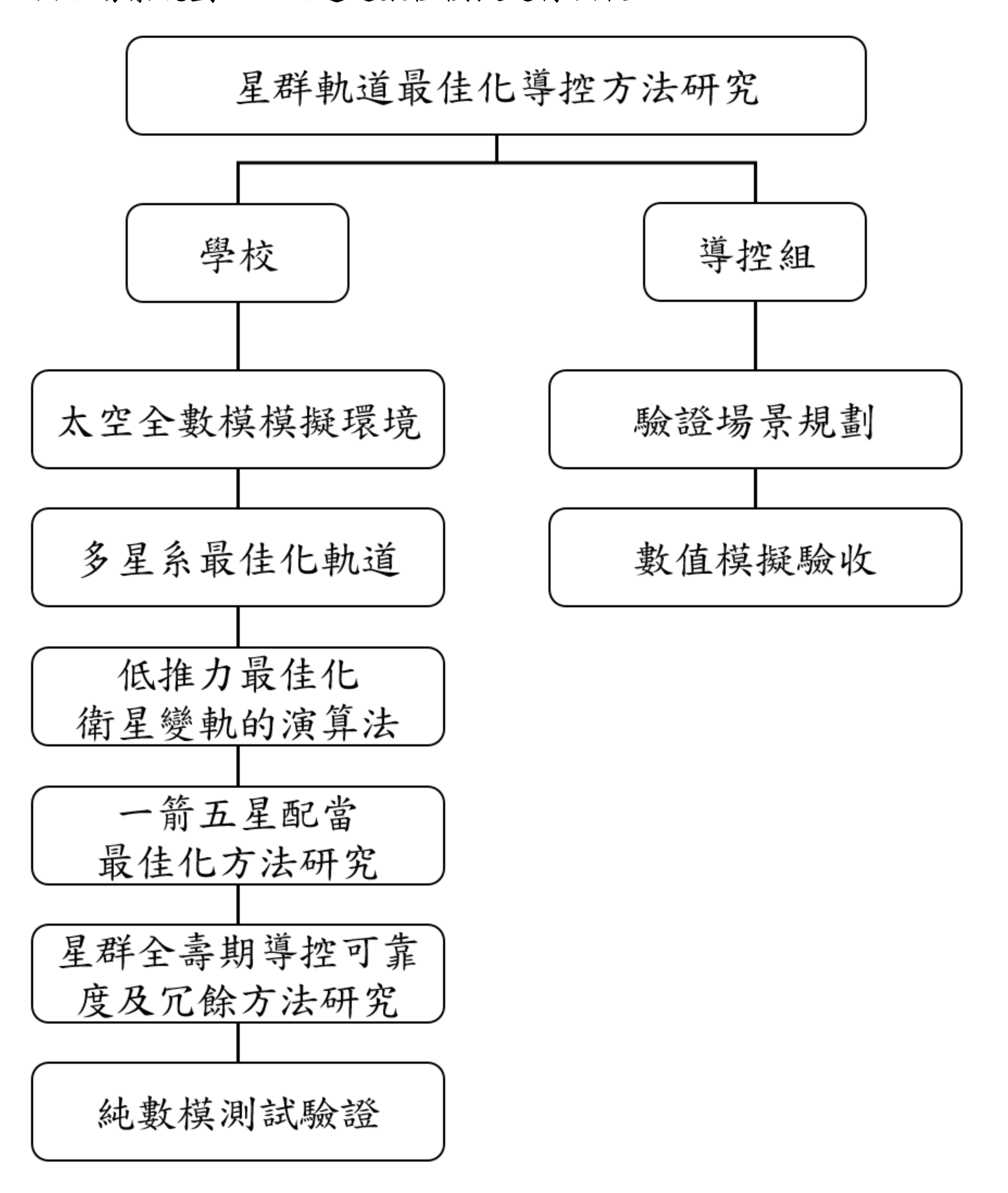
<table>
<tr><td></td><td></td><td>壽期之初始。
(2) 透過純數模之太空環境，測試開發之導控法則，於此環境中能透過導控系統佈置衛星，達到預期之結果。
(3) 針對星群全壽期導控可靠度及冗餘(redundant) 方法研析。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本計畫所研究開發之成果，其最佳化及導控相關演算法，可作為本院相關前瞻計畫之導控系統參考。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>全案執行完後，星群軌道最佳化導控預計可達 TRL3。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>研究議題(國防學合計畫)
專屬之多星系最佳化軌道的演算法(112 年)
太空全數模模擬環境(112 年)
長時連續低推力(省能量)最佳化衛星變軌的演算法(112 年)
一箭五星配當最佳化方法研究(113 年)
純數模測試驗證(113 年)
星群全壽期導控可靠度及冗餘方法研究(113 年)

測試驗證方式：
演算法的研究成果將透過導控組所設計之驗證場景，使用商業軟體 STK 所提供之數值太空環境進行模擬測試，透過數值模擬的方式，評估演算法是否達成視角(FOV)60 度情況下，我國區域內全時通訊覆蓋的目標，驗證研究結果。</td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>績效指標(KPI)：
112 年預期成果：
(1)完成視角(FOV)60 度且達到我國區域全時通訊之多星系最佳化軌道的演算法，並交付原始碼與研究分析報告。
(2)完成建立太空全數模模擬環境並與 STK 軟體進行模擬結果比較與分析，並交付原始碼與研究分析報告。</td></tr>
</table>

		(3)完成長時連續低推力(省能量)最佳化衛星變軌的演算法，並交付原始碼與研究分析報告。 113 年預期成果： (1)完成一箭五星配當最佳化方法研究,並交付原始碼與研究分析報告。 (2)完成於純數模之太空環境下，測試所開發之導控法則佈置衛星，達到我國區域全時通訊目標，並交付原始碼與研究分析報告。 (3)完成星群全壽期導控可靠度及冗餘方法研析，並交付原始碼與研究分析報告。 後續應用： 本計畫所研究開發之成果應用與效益： (1) 建立我國全區域全時通訊服務，當地面實體通訊線路失效時，可透過全時通訊衛星系統，持續提供通訊服務。 (2) 建立偵照衛星軌道配置與軌道變換控制，達成對目標區域的即時監控。 (3) 建立星群的衛星布置與規劃 研究成果包含星群之全壽期規劃與分析：最初之一箭五星配當，以及全壽期導控可靠度研析。以此為先期研究建立基礎能量，可作為本院相關前瞻計畫之導控系統參考。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

附件一、分工架構

分工架構圖如下圖一所示，學校負責構想書所述之研究項目，本組(導控組)負責驗證場景規劃，以及透過數值模擬進行驗收。



圖一、分工架構圖

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：飛航結構操作模態分析技術研究與試驗驗證			計畫期程：112 年
提案單位：飛彈所結構熱傳組　聯絡人：廖徑霆　電話：(03)471-2201#356753			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	結構動態參數(振頻、振型、阻尼比)識別是結構試驗重要技術之一，通常利用實驗模態分析(Experimental Modal Analysis, EMA)方式，透過實驗測得外力激振與振動響應訊號後，再進行模態分析得到相關參數。另 EMA 在測試時，需將試驗件以彈性繩吊掛或置放於海綿墊，模擬自由邊界條件，再以衝擊鎚進行人工敲擊激振，因此面對大型結構之試驗規劃時，除難以模擬自由邊界條件外，激振方式亦有其高難度，EMA 測試將有所限制。故操作模態分析(Operational Modal Analysis, OMA)方式便因運而生，OMA 測試無需人工激振，僅量測試驗件在實際工作狀態下之振動響應，直接分析振動響應訊號取得結構動態參數，由此可知，OMA 在大型結構測試方面，較 EMA 方式更具快速、成本低、準確反應試驗件現況等優勢。而中科院飛彈所曾以飛彈翼翅結構為試驗件進行初步研究，利用實驗模態測試方式，量測衝擊鎚敲擊力與結構振動響應訊號後，先以實驗模態分析法求得結構動態參數，再以既有模態分析軟體(MEScope)之內建操作模態分析演算法進行結構振動響應訊號分析，兩者互相比對驗證。 該研究結果顯示，由其內建 OMA 演算法計算獲得之振頻與振型，僅第 1 模態與 EMA 分析結果相仿，阻尼比則是差異仍大，加上對此演算法瞭解程度有限，故規劃執行 106 年學合案「操作模態分析於飛行器飛航模態識別之應用」，其研究結果為完成多項 OMA 理論搜查評估，以及使用模擬振動訊號來做理論方法的測試，該階段尚未運用至全彈地試量測與飛試遙測振動訊號分析。另考量各國仍持續發展 OMA 分析技術，本院除需持續精進發展演算法外，更需積極以實際地試、飛試量測數據進行 EMA 與 OMA 比對驗證。 有鑑於此，擬提出(112 年)本計畫「飛航結構操作模態分析技術研究與試驗驗證」申請，期能找出並建立符合所需 OMA 演算法與程式，利用此演算法進行分析比對與實驗驗證，確認其有效性與可靠度，進而獲得驗證完成後之演算法原始程式碼，以增進後續運用之實用性。	
二	計畫目	1. 本案係以探空火箭為標的，利用有限元素分析(Finite Element Analysis, FEA)與 EMA、OMA 比對確認後，發展適合飛航結構之 OMA 演算法，並以此 OMA 演算法原始程式碼開發人機介面程式，進而持續以本院地	

	的	試與飛試量測數據進行驗證。 2. 計畫成果將運用在各型火箭、飛彈、船艦等大型結構於環境激振下之動態特性量測，以確認數值分析模型正確性，進而掌握結構動態行為的安全性。
三	研究議題	1. 以學術合作單位可取得之探空火箭為測試件，配合 FEA 建立數值模型與分析，獲得探空火箭結構動態參數。 2. 以探空火箭為測試件，配合實驗模態測試方式，量測探空火箭振動響應訊號，以 EMA、OMA 法分析此訊號，將兩者獲得之結構動態參數相互比較，同時亦與 FEA 分析結果比對，利用數值分析與實驗驗證，確定本案開發之 OMA 演算法之有效性與可靠度。 3. 提供本院驗證完成後之 OMA 演算法原始程式碼與其人機介面程式，以利本院利用地試與飛試振動訊號進行計算，獲得可識別之結構動態參數，並與既有分析方式所獲結果比較，持續確認此演算法有效性與可靠度。
四	運用構想	飛彈於飛行的過程，受到自身各段作動情況與環境影響，彈體將會發生振動，當彈體發生振動時，易導致彈內元件碰撞與結構磨損、疲勞。因此，本計畫之研究目的，係利用擷取彈體振動響應訊號，建立以操作模態分析法為基礎之結構動態參數擷取分析技術，並與有限元素分析與實驗模態分析結果比較驗證，評估新建技術有效性及可靠度，期能精進本院全彈結構動態參數之試驗能量。 一般常用於量測結構動態參數之方法為實驗模態分析及操作模態分析，前者係利用衝擊鎚或激振器對結構進行激振，透過感測器(加速儀、位移計、應變計等)擷取結構因激振所產生的響應變化，利用激振及響應訊號計算頻率響應函數(Frequency Response Function, FRF)，獲得結構動態特性[1]。而在實際應用中，亦有使用衝擊鎚及激振器不足以使大型結構物激振之情況，因此發展出操作模態分析方法，藉由結構物自身作動為激振源(模擬環境引起之振動)，激發出結構振動，以感測器進行結構振動響應量測，將測得之響應訊號近似成自由衰減訊號後，藉由最小二乘複指數法(Least Squares Complex Exponential, LSCE)、亞伯拉罕時域法(Ibrahim Time Domain, ITD)、特徵系統實現法(Eigensystem Realization Algorithm, ERA)或ERA/DC等方法進行模態參數識別[2-6]。 本計畫之最終運用構想，係將火箭、飛彈、船艦等結構體在運作模式下，將內部感測器測得之結構振動響應時域訊號，以符合需求之OMA演算法進行分析，識別火箭、飛彈、船艦結構動態參數，提升結構動態結果分析與研判能力。 [1] A. Gierse, S. Krämer, D. J. Daab, J. Hessel, F. Baader, B. S. Müller, T. Wagner, G. Gdalewitsch, E. Plescher and L. Pfützenreuter, “Experimental In-Flight Modal-Analysis of a Sounding Rocket

<table>
<tr><td></td><td></td><td>Structure”, *21st ESA Symposium on Rocket and Ballon related Research*, Switzerland, Vol. ESA SP-721, 2013.
[2] S. Fransen, D. Rixen T. Henriksen and M. Bonnet, “On the Operational Modal Analysis of Solid Rocket Motors”, *Proceedings of the IMAC-XXVIII*, Jacksonville, Florida USA, 2010.
[3] S. Rizo-Patron and J. Sirohi, “Operational Modal Analysis of a Rotating Cantilever Beam Using High-Speed Digital Image Correlation”, *57th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, San Diego, California, USA, 2016.
[4] G. Coppotelli and C. Grappasonni, “Operational Modal Analysis of a Solid Rocket Motor from Firing Test”, *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 50, No. 3, pp. 632-640, 2013.
[5] Adam Dąbrowski , Karol Pelzner , Szymon Krawczuk , Jacek Goczkowski and Agnieszka Elwertowska, “Preliminary Results from HEDGEHOG REXUS Project – A Sounding Rocket Experiment on Accelerations, Vibrations and Heat Flow”, *Acta Astronautica*, Vol. 177, pp. 80–85, 2020.
[6] A. De Vivo and C. Brutti, “Vega In-Flight Modal Identification with the Operational Modal Analysis Technique”, *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 51, No. 5, pp.1464-1473, 2014.</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>操作模態分析法及試驗測試已廣泛應用於國外土木建築與航太結構相關研究，並有諸多文獻發表，反觀國內卻鮮少應用於國防武器系統研究。而本院先前所進行操作模態分析之研究，已將此法應用於飛彈彈體翼翅結構，並於執行 106 年學合案時，利用模擬振動訊號確認所發展操作模態分析法之正確性，已經將技術備便水準(TRL)由 1 提升為 2。
本計畫規劃繼續發展操作模態分析演算法，並與探空火箭結構試驗獲得之動態參數進行比對及驗證，建立符合需求之演算法，並提供本院此演算法之原始程式碼與其人機介面程式後，以利本院利用地試與飛試振動訊號進行分析，藉以識別結構動態參數，預估此分析方法完成後，可將 TRL 由 2 提升至 3。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>建立探空火箭有限元素分析模型，並透過探空火箭模態參數擷取，進行模型修正。(112 年)</td></tr></table></td></tr>
</table>

		以探空火箭為測試件，完成各方法(FEA、EMA、OMA)分析比對與實驗驗證，確定自行開發 OMA 演算法之有效性與可靠度。(112 年)	
		提供本院完成驗證之 OMA 演算法原始程式碼與其人機介面程式。(112 年)	
		總計	
八	預期成果	a. 利用探空火箭實際結構尺寸測量、3D 掃描等方式，建立探空火箭 FEA 模型，進行數值模擬分析，得到動態分析結果。 b. 利用探空火箭為測試件，以實驗模態測試方式，量測探空火箭振動響應訊號，將訊號經 EMA 與 OMA 分析，獲得結構動態參數，相互比較外，亦與 FEA 分析結果比較，計算數值模擬分析與實驗之振型 MAC 值(Modal Assurance Criterion，檢驗兩者模態振型相關性之準則，0 為極不相關，1 為極相關)，以確認本案開發之 OMA 演算法應用於飛航結構動態參數識別之有效性與可靠度，本案預期成果為探空火箭前 2 個主要模態 MAC 值達 0.85 以上。 c. 本院預期獲取完成驗證之 OMA 演算法原始程式碼與其人機介面程式後，將利用地試與飛試振動訊號，以此演算法進行動態參數識別與應用，並與既有分析方式之結果比較，持續確認此演算法有效性與可靠度。	
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。	

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：硼富燃料推進劑之二次燃燒流場特性研究			計畫期程：112-113 年
提案單位：液體推進組　　聯絡人：王譯徵　　電話：(03)471-2201#352134			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	配合十年國防科技發展，執行國防先進科技研究計劃「硼富燃料推進劑之二次燃燒流場特性研究」，探討硼富燃料推進劑之點火階段(ignition stage)及燃燒階段(combustion stage)分別於氣體產生器及衝壓燃燒室的燃燒流場特性。硼富燃料推進劑(Boron-based fuel rich propellant)為新一代推進系統常用的配方之一，可用於產生富含燃料的燃氣，注入引擎後與空氣進行二次燃燒，進而產生推力。產生的燃氣為包含硼、氧化硼、碳化硼等物質的氣粒兩相流(gas particles flow)。國際上已有相關文獻針對燃氣混和燃燒流場進行模擬研究，基於國際文獻為研究基礎，採用 Computational fluid dynamics(CFD)方法，使用 Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations (RANS)、species transport equation 與 turbulence model 進行本研究兩相流模擬。硼富燃料推進劑所產生的燃氣，與空氣二次燃燒的流場特性，是影響引擎性能的重要因素之一，因此本研究規劃以兩年的時間(112-113 年)，建立相關的數值模擬技術，並進行燃燒室的燃燒流場特性分析與燃燒室性能。	
二	計畫目的	本計畫規劃兩年時間內，完成以下項目： 1. 建立硼富燃料二次燃燒之數值模擬分析能量。 2. 進行硼富燃料二次燃燒之流場模擬分析研究。	
三	研究議題	112 年研究議題： 1. 進行氣粒兩相流之流場模擬研究，建立兩相流模擬技術。 2. 使用指定構型之燃燒室，進行流場混合特性研究。 3. 建立硼基(Boron-based)燃料反應機構。 113 年研究議題： 1. 建立硼富燃料推進劑二次燃燒之流場模擬能量。 2. 使用指定構型之燃燒室，進行二次燃燒之流場特性研究。 3. 進行燃燒室構型參變分析，參數為燃燒室尺寸與燃氣與空氣注入位置，針對流場與燃燒室效率訂定研究目標如下。	

<table>
<tr><td></td><td></td><td>流場分布：
1. 燃氣與空氣混合均勻。
2. 燃氣與空氣混合後，停留在燃燒室時間，停留時間越長燃燒室效率越好。
3. 燃燒室中低壓區產生位置(駐焰區)，提升燃燒效率。

燃燒室性能：
1. 依參照研究經驗燃燒室效率需比原構型增加 5 %以上。

以上結果透過流場模擬可獲得燃氣與空氣混合狀態、流速、燃燒室壓力分佈與溫度，分析結果是否符合上述條列之目標。

針對上述目標如未滿足可優化下列標的:
1. 優化燃氣與空氣注入位置-改善流場部分 1-3 項與燃燒室性能 1 項。
2. 優化燃燒室長度與寬度-改善流場部分 1-2 項與燃燒室性能 1 項。燃氣與空氣注入位置，改善流場中燃氣與空氣混合狀況、燃氣與空氣混合後，停留在燃燒室時間、產生駐焰區位置與提升燃燒室效率。也可優化燃燒室長度與寬度，改善流場燃氣與空氣混合狀況、燃氣與空氣混合後，停留在燃燒室時間與提升燃燒室效率。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本計畫建立之模擬能量，可應用於硼富燃料推進劑之二次燃燒流場分析，作為燃燒室設計之參考，可應用於可變流量固體導管衝壓引擎之開發。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>針對硼富燃料二次燃燒流場之模擬技術，目前僅透過文獻資料進行概念性的瞭解，侷限於分析性的研究，故評定 TRL 等級為 2。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>1.進行氣粒兩相流之流場模擬研究</td></tr><tr><td>2.使用指定構型之燃燒室，進行流場混合特性研究</td></tr><tr><td>3.建立硼基(Boron-based)燃料反應機構</td></tr></table>
113 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>1.建立硼富燃料推進劑二次燃燒之流場模擬能量</td></tr><tr><td>2.使用指定構型之燃燒室，進行二次燃燒之流場特性研究</td></tr><tr><td>3.進行燃燒室構型參變分析，提供性能優化建議</td></tr></table></td></tr>
</table>

八	預期成果	全案(二年期程)完成後，可建立硼富燃料二次燃燒之數值模擬能量，並應用於衝壓引擎的燃燒室流場分析，獲得構型優化建議。分年預期成果如下： 第一年： 1. 建立氣粒兩相流模擬之模組，並提交開放程式碼。 2. 執行指定構型燃燒室之流場混合特性研究，並提交研究報告。 3. 建立硼基(Boron-based)燃料反應機構，並依照 Arrhenius equation 的格式，提供各反應式的速率常數。 第二年： 1. 建立硼富燃料推進劑二次燃燒之流場模擬能量，並提交開放程式碼。 2. 執行指定構型燃燒室之二次燃燒流場特性研究，並提交研究報告。 3. 執行燃燒室構型參變分析，提供分析結果與優化建議報告。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院

112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術(1/3)</td><td>計畫期程：112-114 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：飛彈所氣動力學組　　聯絡人：劉宗燁　　電話：(03)471-2201#352614</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">本計畫目標在開發新技術可以適用於各類航空太空飛行器，國內發展高空域飛行器，如極超音速飛行器、探空火箭、再入回收艙、發射載具等，有助益於太空計畫與國防科技發展。還可應用於微機電系統組件熱流分析、半導體製程化學氣相沉積（CVD）的模擬，改良傳統化學氣相沉積技術。
目前已具備連續體流的數學模型，其方法係解 Navier-Stokes 方程式。但在高空稀薄氣體環境下，因組成律(constitutive law)的不適用，連續體模型(Navier-Stokes 方程式)產生很大的誤差。受到氣體稀薄效應影響時，質量、動量與能量守恆方程式中；剪應力與熱通量不能由低階巨觀流場參數(如速度、溫度)的梯度與傳輸係數(transport coefficients)來表示。
為了準確模擬由連續體流至自由分子流，即全 Knudsen 域流場模擬，需要發展一種分子力學模擬法，可以同時準確的獲得連續體流 Navier-Stokes 解與自由分子流無碰撞的 Boltzmann 解。
近年相關研究文獻列出如後附件，相關文獻敘述如下。
2010 年徐昆與黃俊誠提出的單一化分子力學方法(UGKS）是一種用於模擬氣體流動的多尺度數值方法(Xu & Huang 2010a,b)。在過去的十年中 UGKS 發展迅速，除了應用於氣動力學領域外，主要在兩個方面：(1)擴展到了多尺度輸運，如輻射傳輸 Sun et al. (2015)、等離子體物理 Liu and Xu(2017)、氣體-粒子多相流 Liu et al.(2019)、中子傳輸 Tan et al.(2019)等。(2)提升運算效率，發展適用於極超音速稀薄流的運算軟體。Liu et al. (2020)證明 UGKS 是一種二階統一保留方案，當單元尺寸和時間步長遠大於粒子平均自由程和平均碰撞時間時，可以準確捕獲 NS 解，與傳統的 NS 相同 用於宏觀方程直接離散化的求解器。
UGKS 的兩個重要組成部分是：(1)速度分佈函數的演變與宏觀流動變量的演變相耦合；(2)UGKS 的數值通量是由分子力學方程的積分解構造的，該積分解考慮了粒子自由流和碰撞到時間步長尺度的累積效應。Zhu et al(2019)、Liu et al.(2020)與 Li et al.(2020)為了進一步提高 UGKS 在模擬高速流動中的效率，提出了單一化氣體動力學波粒(UGKWP)方法並將其應用於多尺度氣體動力學和光子傳輸的模擬。</td></tr>
</table>

UGKWP 方法的構建遵循 UGKS 相同的直接建模方法：單個微觀粒子的演化與宏觀流動變量的演化耦合，多尺度粒子演化由動力學模型方程的相同積分解控制。Liu and Xu(2021)將 UGKWP 方法擴展到多尺度氣體混合物和等離子體模擬領域。所提出的 UGKWP 方法與 UGKS (Liu and Xu 2017)和 DUGKS (Liu H. et al. 2020a,b)具有相同的多尺度屬性。該方案保留了稀薄區域中的無碰撞限制，以及相應的 NS 和 MHD(慈流體力學)求解器在連續流區域中。UGKWP 的一個吸引人的特點是計算複雜性隨著流動狀態從動力學到連續體的轉變而降低。特別是在 NS 和 MHD 狀態下，UGKWP 收斂到流體動力流動求解器。近年持續進展，Zhaoli Guo and Kun Xu (2021)，Liang Pan et al.(2020)，Yajun Zhu et al.(2019)，Yipei Chen et al. (2020)等等持續發展與驗證，使 UGKS 算則發展更完整，並逐漸擴展應用至各類稀薄流計算。

直接模擬蒙特卡羅(DSMC)方法是一種基於粒子運動的概率方法，由於物理理論清楚，數學方程簡單，無論在方法、程式架構、應用領域的發展在 2010 之前就已發展完整。近年的發展主要在幾個方面：(1)擴展適用於近連續體流域與非定常流的方法；(2)發展高階物理模型(碰撞模式)，(3)提高運算效率。其中調適網格法在有限的網格內節省運算時間，提高計算精確度上有明顯的成效。

DSMC 直接與 NS 方法連結，其網格分布與大小應確保收斂到局部平均值的數量級來提高求解精度，以及更準確的計算流動特徵，如震波、膨脹風扇、再循環區和邊界層等等。本計畫擬採用單一化分子力學方法(UGKS)與 DSMC 連結,二者同樣具有計算非平衡熱流效應的能力，其計算域銜接的部分可重疊於過度流區，網格分布與網格大小具有相同量級，可大幅提升計算效率與流場精度。

用於 DSMC 的網格細化的早期工作之一是 Garcia et al.(1999)等人的自適應網格和算法細化(AMAR)技術。混合 NS-DSMC 算法執行網格自適應，該算法具有用於空間域的塊結構分層細化策略和用於時間域的自適應時間步長算法，該算法基於 CFL 考慮以不同的速率推進不同級別的網格。DSMC 的網格優化有兩種主要方法，其一基於非結構化網格的方法 Wu et al.(2002)、Kim et al. (2004) 與 Su et al.(2011)。其二為 Nompelis and Schwartzentruber(2013)、Gao et al.(2011)、White(2015)、Klothakis et al.(2016) 與 Sawant et al.(2018)等基於笛卡爾/八叉樹網格的方法。笛卡爾/八叉樹方法分為 n 級笛卡爾網格和遞歸自適應網格細化(AMR)技術。選擇優化標量來計算誤差範數以細化或粗化網格是至關重要的。笛卡爾技術計算局部平均自由程並直接細化尺寸大於局部平均自由程的單元。雖然局部平均自由程為允許的單元大小設置了上限，但當考慮到網格的過度細化的補丁會記錄低粒子數，這反過來會導致宏觀平均值惡化時，可以應用允許的單元大小的

		下限。為了糾正這一點，White (2015)能夠在細化時強制執行多個粒子約束—如果單元中的粒子數小於或等於閾值數，則單元不會被細化。在非結構化網格和一些笛卡爾網格方法中，密度以及密度和速度的梯度已被用作優化標量，如 Klothakis et al.(2016)。在感興趣區域生成網格的便利性、網格適應的靈活性以及適應複雜幾何形狀的能力，非結構化網格方法優於結構化網格方法。例如超燃沖壓發動機配置 Su et al.(2011) [8]、再入飛行器 Arslanbekov et al. (2012)、哈勃太空望遠鏡和航天飛機 LeBeau and Lumpkin (2001)。 為了準確模擬由連續體流至自由分子流，即全 Knudsen 域流場模擬，發展應用於複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術，需要發展一種分子力學模擬法，可以同時準確的獲得連續體流 Navier-Stokes 解與自由分子流無碰撞的 Boltzmann 解。目前 DSMC 與 UGKS 兩種數值模擬方法應用於氣動力學設計分析已發展逐漸成熟。DSMC 解波茲曼方程，適用於過渡區與自由分子流域。DSMC 對於近連續體流域則需要相當大的計算資源，或有較大的通季散步誤差。對於非定常流計算亦需有大量的計算電腦資源。UGKS 方法則解波茲曼模型方程，是波茲曼方程的低階近似方程，但適用於連續體流(NS 方程)、近連續體流域與過渡流域。兩種方法結合可以發展成全流域數值計算技術，適用於低中空(0-60km)，以及高空至低軌道(60km-300km)飛行器稀薄流空氣動力學設計分析軟體。
二	計畫目的	本計劃將發展複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術，綜合 DSMC 法 UGKS 算則與 N-S(Navier-Stokes 方程)解法,提出一種可以有效率與準確地應用於自由分子流至連續體流域，低次音速至極超音速稀薄氣動熱力學分析的全流域的數值方法，應用於高速高空域飛行器氣動力分析，建立複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術。 全計畫分三年，逐年完成各算則發展： (1)建立應用於高速高空域飛行器的 DSMC 稀薄流計算氣動力模擬技術與驗證。 (2)發展應用於高速高空域飛行器的三維 UGKS 方法解 Boltzmann 模型方程式建立與驗證。 (3)結合前述兩種方法發展應用於高空尾燄流場模擬分析的複合式(hybrid)全流場模擬法。
三	研究議題	飛行至高空稀薄氣體環境下的火箭噴流尾燄流場模擬分析，為了準確模擬由連續體流至自由分子流，即全 Knudsen 域流場模擬，需要發展一種分子力學模擬法，可以同時準確的獲得連續體流 Navier-Stokes 解與自由分子流無碰撞的 Boltzmann 解。近年有多位研

究者提出 Asymptotic Preserving (AP)算則，適用於全 Knudsen 流域的 AP 算則，簡稱為 U-BGK 法。U-BGK 法結合解 Navier–Stokes 方程式的 BGK-NS 算則，與分立座標法解 Boltzmann 模型方程式的數值方法。同時計算巨觀流場守恆參數(密度、動量與能量)與微觀參數(分佈函數)。**U-BGK 法可視為一種動態的複合式方法，由同一 BGK 方程式積分解趨近不同極限，獲得不同流域的流場。用此方法可取代在不同流動區域採用不同方程式的作法。**

為強化本計畫的實用性，蒐集各國複雜外型飛行器的極超音速試驗數據，以已公開發表的文獻上有限的理論數學真解、地面風洞試驗與飛行試驗數據做為準確性驗證的必要測試數據。

本計畫目標開發全流域氣動力設計分析與流場模擬軟體。建立複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術，用於翼-體-進氣道-噴焰組合飛行器。本計畫的主要產出包括：全流域氣動力設計分析與流場模擬軟體與複雜外型高空域稀薄流計算模擬技術。除了軟體發展外，軟體功能測試與適用性驗證是本計畫中要工作，驗證成果報告亦是重要產出。

本計畫蒐集的驗證案例，供計畫產出進行比對驗證，本計畫具備相關驗證能量。驗證案例規劃如下。

- 稀薄流的地面風洞和飛行數據的驗證案例，包括：

1. Rarefied hypersonic flow over a flat plate：試驗資料可參考 Allegre et al.(1994)，DSMC 模擬結果可以參考 Padilla (2010)、White et al.(2018)與 Palharini et al.(2015)。
2. Rarefied hypersonic flow over a flat plate with a sharp leading edge：試驗資料可參考 Heffner et al.(1991)，DSMC 模擬結果可以參考 Palharini et al.(2015)、Burt et al.(2012)與 Yamaguchi et al.(2001)。
3. Rarefied hypersonic flow over a 70° blunted cone：試驗資料可參考 Allegre et al. (1997a,b,c)，DSMC 模擬結果可以參考 Moss and Lengrand (1998a)。
4. double cones and cylinder flares：試驗資料與 DSMC 模擬結果可以參考 Moss et al.(1998b)、Moss(2000)、Moss et al.(2005)。

- 飛行試驗熱氣動力量測數據的驗證案例，包括：

1. 水星計劃：Mercury 項目從 1958 年持續到 1963 年，其目標是在安全返回之前將一個人送入地球軌道。尋找能夠確保結構完整性和機組人員生存能力的適當設計是一個主要優先事項，導致了幾次飛行測試和實驗。試驗數據驗證可參考 Murphy (1967)與 Schouler et al.(2020)。
2. 阿波羅計劃：試驗資料與 DSMC 模擬結果可以參考 Tseng et al.(2006)、Lo et al.(2015)、Padilla and Boyd (2006) 與 Schouler et al.(2020)。
3. 太空梭計畫：試驗資料與 DSMC 模擬結果可以參考 Gallis et

		al.(2005)與 Moss and Bird (1988) 與 Schouler et al.(2020)。 本計畫期程分三年，分年主要目標與工作項目如下： **第一年目標：建立應用於高速高空域飛行器的 DSMC 稀薄流計算氣動力模擬技術與驗證。** 重點工作項目有：(1)三維非結構網格與平行運算 DSMC 計算程序；(2)非結構自適應網格，提高流場解析度減少統計散布誤差；(3)提高平行運算效率的動態計算域分解法；第一年期末完成建立相關分析模擬程序，進行稀薄流場(過渡流域與自由分子流域)模擬，並與蒐集的試驗數據進行比對驗證。 **第二年目標：發展應用於高速高空域飛行器的三維 UGKS 方法解 Boltzmann 模型方程式建立與驗證。** 重點工作項目有：(1)三維 U-BGK 算則計算程序；(2)高階 Shakhov 與 Ellipsoidal 模型算則(U-Shk 與 U-ES)；(3)多區塊網格(multi-block)界面處理多連結計算域功能；(4)物理空間與相空間分解 MPI 平行運算功能；第二年期末完成建立相關分析模擬程序，進行稀薄流場(連續流、過渡流域與近自由分子流域)模擬，並蒐集的試驗數據進行比對驗證。 **第三年目標：發展應用於高空尾燄流場模擬分析的複合式(hybrid)全流場模擬法。** 重點工作項目有：(1)多成份混合氣體與化學反應 DSMC 稀薄流模擬技術;(2)結合連續流 N-S 解法、近連續流 UGKS 解法與近分子流法 DSMC 法；第三年期末要完成建立複合式全流場模擬程序，並進行應用於複雜外型飛行器的高空尾燄流場模擬，並與蒐集的試驗數據進行比對驗證。
四	運用構想	本計畫開發新技術未來可應用在於如探空火箭、運載火箭、彈道飛彈、太空飛機、超音速行器、再入回收艙一等極高空域飛行載具，有助益於太空計畫與國防科技發展。本技術亦可運用於稀薄氣體環境下的火箭噴流分析。還可應用於微機電系統組件熱流分析、半導體製程化學氣相沉積（CVD）的模擬，改良傳統化學氣相沉積技術。
五	技術備便水準評估	本案需求 3 個分項技術，這 3 個分項技術國內學界均已有進行理論發展經驗，並產出相關計算能量，文獻驗證不足，故給定 TRL 為 2。 依託國內學界的初步基礎，本計畫投入並完成產出相關計算能量，再經文獻驗證，是可預見的成果，故發展後 TRL 評定為 3。 **技術等級評估：**現有 TRL 等級評估為 2，計畫結案後之 TRL 等級評估為 3。 **風險評估部分：**完成並產出相關計算能量，並經文獻驗證，是可預見

<table>
<tr><td></td><td></td><td>的成果，故評定為低風險。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>工項經費分配表

研究議題(國防學合計畫)
議題一：DSMC 稀薄流計算模擬技術，應用於高速高空域飛行器氣動力分析與驗證。 (112 年度)
議題二：發展三維 UGKS 方法解 Boltzmann 模型方程式，應用於高空域飛行器氣動力分析與驗證。 (113 年度)
議題三：發展複合式(hybrid)全流場模擬法，應用於高空尾燄流場模擬分析。 (114 年度)</td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>本計畫目標開發全流域氣動力設計分析與流場模擬軟體。建立複雜外型高速高空域稀薄流計算模擬技術，用於翼-體-進氣道-噴焰組合飛行器。
本計畫完成後，預期主要產出包括：全流域氣動力設計分析與流場模擬軟體與複雜外型高速高空域稀薄流計算模擬技術。除了軟體發展外，軟體功能測試與適用性驗證是本計畫中要工作，驗證成果報告亦是本計畫重要產出。</td></tr>
<tr><td>九</td><td>研發成果歸屬</td><td>本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。</td></tr>
</table>

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：運用於核生化防護之自降解防護技術研究</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：中科院化學所化學防護組 聯絡人：連珈君 電話：03-4712201#358051</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">金屬有機骨架(Metal-organic Frameworks;MOF)材料是一種新型的高結晶性有機/無機複合錯合物，藉由金屬離子或含金屬團簇構成的次級結構單元(Second-Building Unit; SBU)與多牙有機配位基，透過配位鍵組裝而成，具備結構多樣性與可調控性、高比表面積及熱穩定性等的特性。利用多孔 MOF 材料孔隙的大小和形狀以及主客體之間的相互作用，在過去的十年中，此材料在吸附、氣體儲存、空氣淨化、分離、催化及藥物傳遞等方面已有諸多應用，而近年則有應用於核生化領域之新發展。
金屬有機骨架材料自身具極大的比表面積、優越的吸附容量和催化性質，其微奈米多層結構亦利於反應物的傳導及催化點的顯露，避免催化劑的團聚，進而表現出極佳的自消毒性能，具對化學毒劑降解轉化率高、半衰期短、循環使用穩定性好等優點，可於過濾防護裝置中直接應用來進行化學毒劑之反應降解，使為無毒或低毒性的反應物質。
國軍目前用於核生化防護主流材料為活性碳材、選擇性滲透薄膜，活性碳材對於毒劑防護機制以吸附方式作為防護機制，選擇性滲透薄膜則以阻隔方式作為防護機制，而無論是以吸附或阻隔方式，其毒劑均無法消除，存在有二次污染的問題，需要額外再進行消除作業。本案研究方向乃以新穎金屬有機骨架材料與毒劑反應降解成無毒或低毒性的物質，避免二次汙染。
本案自 112 年度進行金屬有機骨架材料合成設計及製備方式最適化選定，以及規劃金屬有機骨架材料與纖維或薄膜結合進行製程評估。113 年度將持續建立金屬有機骨架材料合成製備及分析測試能量，對運用於核生化個人及集體防護方面具有極大的助益，可做為後續防護技術發展之先期評估。</td></tr>
</table>

二	計畫目的	化學、生物、放射線、核子武器屬大規模毀滅性武器，具有毀滅性強、傷害範圍廣、心理威脅大、防護較困難等特性，對戰局常能發揮以小搏大、以寡擊眾關鍵性效果，除傳統戰場運用外亦為恐怖攻擊可能手段。為避免或降低人員、裝備、設施遭受化學、生物、輻射、核子武器攻擊或事件造成之污染危害，實需發展化生放核防禦技術以確保及維持戰力。本案提出發展金屬有機骨架材料，藉由其大的比表面積、優越的吸附容量和催化性質，可於過濾防護裝備中直接應用來進行化學毒劑之反應降解。
三	研究議題	1、先期合成技術研析 (1)金屬有機骨架技術於化學毒劑消除之運用研析。 (2)金屬有機骨架材料製備方式蒐整及最適化選定。 (3)完成金屬有機骨架材料組成材料選定。 2、金屬有機骨架材料研製 (1)完成金屬有機骨架材料合成及製備。 (2)完成金屬有機骨架材料分析測試。
四	運用構想	化學毒劑(Chemical Warfare Agents)，如沙林(sarin)、索曼(soman)等，具極高毒性，無論其是偶然或故意發生，都會對人類或環境構成嚴重威脅，現行用於去除化學毒劑的過濾防護裝置或防護服，其材料主要係以活性碳或薄膜的形式。而無論是以吸附或阻隔方式，毒劑均無法即刻消除，存在有二次污染的問題，需要額外再進行消除處理；因此，發展新型反應式自降解防護材料技術是極其必要的，可以直接透過濾毒及過濾裝置將毒劑降解為無毒或低毒性的反應物質，建立更有效的保護從而對抗致命化生毒劑的危害。本案所開發之金屬-有機骨架材料為粉末狀，於實務應用階段將與纖維及濾材結合使用，並將其固化，不致有吸入人體之疑慮。
五	技術備便水準評估	案內金屬有機骨架材料於核生化防護領域屬相當新穎材料，目前該技術於國外皆為技術概念及應用測試階段，本案 112-113 年全期計畫研製完成後，預期可完成自降解金屬有機骨架材料之製備及分析測試，達 TRL2 之目標。

<table>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>金屬有機骨架技術於化學毒劑消除之運用研析</td></tr><tr><td>金屬有機骨架材料製備方式蒐整及最適化選定</td></tr><tr><td>金屬有機骨架材料組成材料選定</td></tr></table>113 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>金屬有機骨架材料合成及製備</td></tr><tr><td>金屬有機骨架材料分析測試</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>績效指標(KPI)：
1.研究報告一篇。
預期成果：
1. 完成金屬有機骨架材料合成設計及製備方式最適化選定。 (112 年)
2. 完成金屬有機骨架材料與纖維或薄膜結合製程可行性評估。(112 年)
3. 完成金屬有機骨架材料合成製備及分析測試。(113 年)</td></tr>
<tr><td>九</td><td>研發成果歸屬</td><td>本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。</td></tr>
</table>

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：縮尺寸短纖碳/碳複材製作技術研究			計畫期程：112 年
提案單位： 材電所高溫組　聯絡人：陳柏文　電話：(02)2671-2711#313834			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	1. 本案為配合熱防護材料研發所需噴喉材料、耐高溫部件，擬用碳/碳複材作為目標材料。 2. 為達耐溫、耐燒蝕與低膨脹率需求，可利用熱壓成型技術製作二維短纖碳/碳複合材料，具備易於成型、製程簡便、縮短製作時間等優點。	
二	計畫目的	1. 因噴喉部分操作溫度>2000℃以上，碳/碳複材在高溫下(~2500℃)具備高比強度、高比模數與低膨脹性係數等諸多優點。 2. 以短纖碳/碳複材研製，分別運用於大型噴喉與垂直發射系統防焰板之使用，面對高溫環境下固體粒子大量沖刷問題，並可維持長時效操作條件。 3. 相比於傳統上使用碳纖維編織體，再進行瀝青緻密化的製程，其時間成本甚鉅、製程繁複，只能製作出外型較單純的工件再進行機械加工；而以熱壓成型製作短纖碳/碳複材，具有成型快速、減少製作時間等優勢，搭配一般模具設計可製備外型稍為複雜的零組件，如火箭之噴喉、翼翅、彈尖...等。 4. 承上述說明，基於所內已有之熱防護技術之基礎，為適應愈趨嚴苛之外部氣熱環境與建立自主之國防武力，國內有必要自行開發上述相關製程。	
三	研究議題	1. 商購指定長度介於 0.1~50 mm 之間的短碳纖維。 2. 使用煤焦瀝青當作黏著劑，必要時可以進行成分改質或轉化來提升介相瀝青比例，藉此提高含碳量、降低雜質。 3. 評估加入溼式混煉方法來提升短碳纖維在瀝青內分散效果。 4. 評估熱壓成型中的重要參數對於短纖碳/碳短複材製作的影響。 5. 使用本院提供之熱壓模具，製作出直徑>70 mm、厚度>50 mm 的縮尺寸試製樣品，再送回本院進行緻密化或其他機械加工。 6. 評估碳化、石墨化、浸漬等不同步驟對於短纖碳/短複材之性質(密度、孔隙率、彎曲強度、熱膨脹系數)改善與提升。	
四	運用構想	1. 本項關鍵技術研發完成後，應用於熱防護模組，具耐高溫、質輕、抗衝擊等特性，可令載具內部組件在允許溫度範圍內正常工作，同時提高載具有效荷重，降低載具發射成本。 2. 以熱壓成型法製作短纖碳/碳複材，可減少碳/碳複材製作時程並能製備具有較複雜外型的耐高溫零組件，提升製作效率。	

五	技術備便水準評估	原製備短纖碳/碳複材須使用以下技術：材料配方研究、熱壓成型技術、石墨緻密化技術，已能經由對基礎原理之瞭解後對實務上的應用有所創新，TRL 技術水準應為第 2 級。此案縮尺寸碳/碳製備尺寸較大、厚度增厚，直徑> 70 mm、厚度> 50 mm，關鍵技術可能為控制製程中材料配方研究及熱壓成型技術的相關參數，希望可在個別的技術單元分析性預測進行實體性確認，TRL 技術水準應為第 3 級。
六	期程工項	112 年工項 研究議題 材料配方研究與熱壓成型技術(112)
八	預期成果	預計產出縮尺寸短纖碳/碳複材試片，及期中報告、期末報告各 1 份，目標規格如下： (1) 彎曲強度 > 100 MPa (2) 密度 > 1.7 g/cm^3 (3) 孔隙率 < 20% (4) 熱膨脹係數 < 5×10^{-6} $1/^{o}C$ (5) 尺寸：直徑> 70 mm、厚度> 50 mm 測試與驗證將由校方計畫團隊進行。 未來可應用於噴喉製作，或應用於所內熱防護計畫的載具部件。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：新式熱電池材料及技術探討(1/3)			計畫期程：112-114 年
提案單位：材電所 電能組　聯絡人：蔡松穎　　電話：(03)4712201#357269			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	國內現有熱電池材料依舊停留再 Li/FeS_2 階段並未有所變更，另受限於材料本身安全性(Li 金屬易燃)及耐高溫性(FeS_2 熱分解溫度低)，已逐漸無法滿足本院武器系統電力需求，急需開發新式熱電池陰陽極材料，以完成易製性高及提高電池工作效率。 本案為國防自主及現有技術提升，透過本階段研發並改良現有熱電池材料製作技術，效仿歐美等先進國家使用之軍用熱電池技術，實現體積縮減但能量密度不變，或增加任務需求時間，提升系統作戰能力。	
二	計畫目的	藉由本計畫執行剖析目前國外熱電池陰陽極材料之選用、效能及其製作方法，並接續研究配方調控、試製、電池功測，找尋最適匹配條件，取代現有陰陽極粉末製程，最後放量生產並執行單電池組裝及功測，建立高儲能熱電池陽極製程關鍵技術。	
三	研究議題	1. 112 年：探討熱電池陽極材料評估，分析陽極材料純度、雜質、粒徑、商源、易製性等，並探討應用於熱電池陽極材料之可行性評估。 2. 113 年：掌控熱電池陽極粉末混合關鍵技術，探討陽極粉末及導電鹽類混拌均勻性、改質及放電等特性，以利後續減少加工製程，確保製程品質。 3. 114 年：掌控熱電陰極粉末關鍵技術，並執行電池功測任務，以確保產能穩定性。	
四	運用構想	依本院國防科技前瞻科技中/長期趨勢評估，下一世代飛彈將朝遠視距/超視距發展，任務時間將會是現役系統數倍，且系統用電需求越趨複雜且耗能；而現有熱電池已不敷系統使用，本案研究技術將開發一種高儲能熱電池陽極材料，未來可應用於院制等專案飛彈用電需求。	
五	技術備便水準評	預期效應：透過本案先期技術研究，可探究國外現有熱電池技術水準，從中發展新式熱電池陰陽極材料開發，並配合本院現有產製設備及驗測平台，可縮短技術研發時程，由基礎研究晉(TRL 2)升至先進技術發展階段(TRL 5)。	

次系統：次世代電池系統		
關鍵技術名稱	鋰離子電池正負極材料精進技術開發	

<table>
<tr>
<td></td>
<td>估</td>
<td>
<table>
<tr><th>關鍵技術內容</th><th>技術功能描述</th><th>TRL:</th></tr>
<tr><td>陽極材料製程技術</td><td>1. 掌控熱電池陽極粉末混合關鍵技術，探討陽極粉末及導電鹽類混拌均勻性、改質及放電等特性</td><td>2→5</td></tr>
<tr><td>陰極材料製程技術</td><td>1. 探討陰極粉末前處理製程，並調整配方比例，用以提高陰極材料耐溫性~500℃</td><td>2→5</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>六</td>
<td>期程工項</td>
<td>✓ 112 年發展鋰系熱電池陰陽極材料，探討熱電池(Li/FeS_2)系統規格 1.開路電壓>2V，2.耐溫性~500℃之陰陽極材料評估。
✓ 113 年：高儲能熱電池陽極粉末製程開發
熱電池陽極粉末製程技術，執行鋰系電解質技術發展，開發鋰系固態傳導粉末，熔融工作溫度 300~500℃。
✓ 114 年：高儲能熱電池陰極粉末製程開發及性能功測
1.開發熱電池陰極粉末製程技術，陰極粉末工作溫度 400~500℃。
2.執行單元電池性能功測，熱電池(Li/FeS_2)試驗功測，單元電池開路電壓 >2V，有效放電(OCV~0.6V)時間>100 秒。</td>
</tr>
<tr>
<td>八</td>
<td>預期成果</td>
<td>112 年：高儲能熱電池陰陽極材料分析
(1) 完成高儲能熱電池陽極材料探討與選用。
(2) 完成高儲能熱電池陰極材料探討與選用。

113 年：高儲能熱電池陽極粉末製程評估
(1) 完成陽極材料表面改質技術開發。
(2) 完成陽極粉製程品質控管。
(3) 完成陽極粉製程技術開發。

114 年：高儲能熱電池開發
(1) 完成陰極粉製程技術開發。
(2) 完成陰極粉製程品質控管。
(3) 完成高儲能熱電池單元功測。</td>
</tr>
</table>

九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：高頻地波相位陣列雷達回波電離層干擾辨識與移除技術之開發(1/2)			計畫期程：112-113 年
提案單位：電子所地面雷達組 聯絡人：吳剛宏 電話：03-4712201 #355918			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	由於電離層位於距地 60 公里到 1000 公里的高層大氣中，因此使用電波頻率在 30 MHz 以下的高頻地波相位陣列雷達偵測遠距離(100~600 公里)海面目標時，雷達回波易受電離層反射或散射回波的汙染，電離層干擾甚至覆蓋目標物的回波，嚴重影響目標物的辨識與偵測，甚至導致雷達對於目標物偵蒐與監測任務無法遂行。本計畫擬開發適當的雷達回波分析處理技術，針對高頻地波相位陣列雷達所接收的回波中，能有效的辨識、提取並移除電離層的干擾回波，同時保留原始雷達目標物的回波，以利後續的分析與處理，並滿足高頻地波雷達的任務需求。	
二	計畫目的	本計畫擬利用雷達回波多通道頻譜分析法(Multi-channel Spectral Analysis)，開發相關演算法，分析高頻地波相位陣列雷達回波頻譜中各種不同回波信號的相干值(Coherence)、變異(Covariance)與特徵向量(Eigen Vector)，以辨識並移除電離層干擾回波，同時能保留高品質的目標物回波，以利後續目標物的偵測、定位與監控。在建立高頻地波相位陣列雷達回波分析處理技術的過程中，需考慮雷達系統與雷達回波的特性，包含雷達天線增益、目標物基本特性、回波訊雜比、系統相位偏差等等，以利電離層干擾回波的辨識、提取與移除技術的開發與建立，並作為日後建置與操作高頻地波雷達目標物偵蒐與監測系統的參考與依據。	
三	研究議題	一、定量分析高頻地波相位陣列雷達接收到的各種不同回波特性，包括海洋回波、電離層干擾回波、人為電波干擾、海面目標物回波、以及其他可能的回波(例如海面靜止目標物回波、島嶼回波、飛行目標物回波、定頻干擾等)。 二、自高頻地波相位陣列雷達回波中，開發出能辨識、並提取電離層干擾回波的演算法。 利用雷達回波多通道頻譜分析法，以及高頻地波相位陣列雷達回波頻譜特性，開發出移除電離層干擾回波，同時能保留高品質目標物回波的技術。	

<table>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本計畫執行結果，將可運用於高頻地波相位陣列雷達，距 100 公里到 600 公里範圍內目標物的偵蒐、定位或監測上，可大幅提升我國海面遠距離目標的偵蒐能力。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>112 年進行理論以及文獻蒐整，並進行電離層、海洋、電波干擾之目標物特性分析，發展相關移除演算法，達成技術備便水準 TRL1
113 年使用高頻雷達實際量測資料，進行干擾與雜波之移除，評估達成技術備便水準 TRL2。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年：相關理論與文獻的蒐整與討論、不同回波特性之分析(海洋、電離層、人為電波干擾、定頻干擾、島嶼、多次反射或繞射回波、海面目標物以及空中目標物等)。
<table>
<tr><th>112 年研究議題</th></tr>
<tr><td>分析不同回波特性(如海洋、電離層、人為電波干擾、定頻干擾、島嶼等)(112)</td></tr>
<tr><td>蒐整相關演算法之理論以及文獻 (112)</td></tr>
<tr><td>目標物頻譜資料蒐整以及演算法之初期結果(112)</td></tr>
</table>
113 年：利用回波多通道頻譜分析法，發出電離層移除機制的演算法，並能保留目標物的偵測技術，並將開發之演算法交付院內。
<table>
<tr><th>113 年研究議題</th></tr>
<tr><td>蒐整目標物頻譜資料 (113)</td></tr>
<tr><td>回波多通道頻譜分析法分析結果(113)</td></tr>
<tr><td>電離層干擾移除效應與分析(113)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>開發出適當的演算法，建立高頻地波相位陣列雷達回波中辨識並移除電離層干擾回波，同時保留高品質目標物回波的技術，以利後續目標物的偵測與運用。本計畫所開發的電離層干擾回波的辨識、提取與移除技術，可將軟體建置於相關雷達系統中，預期可大幅提升雷達對於海面遠距離目標物的偵蒐與監測效能。</td></tr>
</table>

九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱:空對地低速目標檢測陣列訊號處理開發平台(1/3)			計畫期程：112-114年
提案單位： 微波尋標器組 聯絡人： 傅柏鈞 電話：03-4712201#355401			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	國內的幻象、F16和IDF戰機對地模式受限環架天線頭的限制，可實行的信號處理能力有限，因此在對地模式-地目標指示(GMTI, Ground Moving Target Indicator) 慢速目標的檢測，干擾消除能力有限，偵蒐能力也相對應的降低，可辨識最低速度也受到限制。隨著空用主動式雷達的漸漸普及，各國也針對相列主動雷達後端訊號檢測處理進行提升，常見的先進技術有適應性波束成形、時空雙域信號處理、同調MIMO、合成孔徑成像等。	
二	計畫目的	國內外許多文獻都過於理論或專注在單一技術上，非理想效應的實作討論、前後的兼容性訊號處理評估或資源估算上都偏學術而非實作上的討論，舉例來說次陣列的劃分各次陣列的形狀和擺放勢必不完全相同且各路接收機仍有相位和大小不一致問題，這些實作問題將影響訊號處理偵測性能且須在系統初步設計時需研發出相對應的檢測和校正機制，此外各演算法的建立皆以模擬量化，難以評估是否符合空用的即時需求。因此本案將針對對地低速目標的檢測和次陣列的處理架構上，探討對地低速目標檢測演算法的可行性評估、即時運算能力的評估和優化、非理想效應檢測和解決方式進行討論。	
三	研究議題	一、 對地低速目標檢測演算法的可行性評估 二、 即時運算能力的評估和優化進行討論 三、 低速目標訊號處理非理想效應檢測、解決方式和評估板實作	
四	運用構想	本機於背景雜波環境下，飛行高度 5000 feet，速度約 500 fps，目標截面積 1 m2，經評估的訊號處理檢測後，滿足符合規格的偵蒐和誤警機率，且複雜度評估滿足即時運算[a]。 [a]信號處理最低需求時間即是等待回波回來的蒐集時間，一般統稱為同調處理時間(CPI, Coherent Process Interval)，因此需實作到嵌入式系統進行時間量化，滿足規格的同時信號處理需在同調時間數量級內，符合空軍任務最短所需時間的要求。	

<table>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>1.目前針對本技術已有相關文獻，本案係希望通過學校執行相關的功能分析及實驗，繼而進行低速目標檢測陣列訊號處理可行性評估，故本案有望從 TRL2 提升為 TRL3。
2.將依據第六點之期程工項作為本案之里程碑。
3.預計每年執行 1 次期中查核及 1 次期末查核作為查核點。
4.各工項之評量指標，為依據校方提供之分析模擬資料和實作評估板實際信號處理產出，判斷是否符合計畫需求。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項經費分配表（對地低速目標檢測演算法的可行性評估）
<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>干擾源和目標統計特徵研究 (112)</td></tr>
<tr><td>干擾消除訊號處理演算法評估與模擬 (112)</td></tr>
<tr><td>前向和側向次陣列雷達低速目標檢測性能討論 (112)</td></tr>
</table>
分析模擬資料需符合指定雷達硬體架構，建立出完整數學建模、演算法模擬與性能討論需與國際著名參考資料相呼應。

113 年工項經費分配表（即時運算能力的評估和優化進行討論）
<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>饋入電子訊號演算法於評估板執行 (113)</td></tr>
<tr><td>評估板研究(資源調度、硬體加速) (113)</td></tr>
<tr><td>即時運算能力的評估和優化程式撰寫 (113)</td></tr>
</table>
評估板於相同電子資料下，執行結果與模擬相同，符合規格且滿足執行運算時間。

114 年工項經費分配表（低速目標訊號處理非理想效應檢測、解決方式和評估板實作）
<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>非理想效應對演算法的影響和檢測方式研究 (114)</td></tr>
<tr><td>非理想效應解決方式研究 (114)</td></tr>
<tr><td>評估板非理想效應演算法執行和添加 (114)</td></tr>
</table>
評估板於相同電子資料下，改善非理想效應問題，執行結果與模擬相同且符合規格。</td></tr>
</table>

八	預期成果	a 藉由指定嵌入式平台的初步驗證量化其演算法效能。 b.可將此技術研究之雷達回波數值模擬訊號於數位平台進行交互驗證，增進雷達軟體開發之系統參數調教、效率及可靠度。 c.考慮實作遇到非理想效應之問題，找尋檢測和解決問題方式，可縮短未來技術開發之除錯時間。 d. 符合 GMTI 模式需求下，檢測出低速目標精準資訊用於加速後續空對地任務模式相關評估、驗證和開發。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：太赫茲多頻段感測器分析與設計(1/3)		計畫期程：112-114 年
提案單位：電子所尋標組　聯絡人：徐新峯　電話：03-4712201#355390		
項次	項目	研究內容
一	計畫背景	現今飛行武器、航空載具發展迅速，在躲避搜索、追蹤、鎖定等技術，也有被動的低反射截面積匿蹤、主動的電磁波干擾等方式。為能應對未來可能目標，增加並提高探索檢測頻率是必須的。院內在微波頻段探測技術頗有發展，若在此基礎上續往更高頻段延伸，必能收獲豐碩的果實。然高頻多頻段感測器技術尚有段基礎科學研究的必經之路，為了加速研發，縮短研究時程，本申請案擬與學術界共同研究，期透過與專家的合作研究，獲得寶貴的經驗，盡速完成高頻多頻段感測器之設計，並滿足本院各武器系統的客製化需求，擺脫國際鉗制與廠商哄抬價格的手段，迎頭追上現代的軍武研發進度。
二	計畫目的	全期目標為取得晶片化且整合高頻、多頻段感測器之設計與分析技術。目前先進製程多為各國管制項目，在實際應用上仍受限，以國內可取得之製程為優先考量。
三	研究議題	子題：30T~100T 之間，單一材料系統可整合之頻率為三倍的兩個頻段之感測器 子題：單一材料系統可整合之頻率為三倍的兩個頻段之晶片化 THz 感測器 子題：單一材料系統整合高頻多頻段多像素(>2×2)感測器
四	運用構想	1.本案擬取得高頻多頻段感測器之分析、設計與研製技術。高頻多頻段感測器執行時程預計為三年，以分批驗收方式，完成各項預期成果。 2.汲取國內學研界團隊在高頻感測器的經驗，透過執行期間密集的討論，從學研團隊獲取晶片化之高頻感測器設計的關鍵技術，包括最新的設計概念和方法，使本院積體光子晶片設計水準得以跟隨得上世界的腳步。
五	技術備便	1.本案包含高頻多頻段感測器分析與設計，證明技術概念，可提升 TRL 至 3。 2.將依據第六點之期程工項作為本案之里程碑。 3.預計每年執行 1 次期中查核及 1 次期末查核作為查核點。

<table>
<tr><td></td><td>水準評估</td><td>4.各工項之評量指標，為依據校方提供之分析設計資料，是否符合計畫需求。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>填寫說明：請分年列述預劃工項，若涉及實體產出，應律定測試驗證方式。
112 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>30T~100T 感測器材料分析</td></tr><tr><td>高頻多頻段感測器設計</td></tr></table>
113 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>THz 感測器材料分析</td></tr><tr><td>晶片化 THz 感測器設計</td></tr></table>
114 年工項
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>高頻多頻段多像素感測器材料分析</td></tr><tr><td>整合高頻多頻段多像素感測器設計</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>績效指標(KPI)：
晶片化整合高頻、多頻段感測器之設計及特性分析，包含國內製程可取得及材料特性。
預期成果(後續運用武器系統說明)：
本計畫成果所開發之高頻多頻段感測器，可應用於空間與功耗有限之國防裝備，例如機載或彈載之雷達。</td></tr>
<tr><td>九</td><td>研發成果歸屬</td><td>本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。</td></tr>
</table>

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：
數位陣列天線系統之匹配地形效應的場型補償技術(1/2)</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：電子系統所天線系統組　聯絡人：陳逸名 電話：03-4712201#359347</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">數位陣列天線系統在當今的雷達系統中扮演舉足輕重的地位，由於其極具彈性的數位波束成形及衍生相應的多功能特性。然而實際應用上所必須正視的問題之一為低偵測角度時所對應的地形效應。地形效應影響多天線數位陣列系統效能甚鉅，本計畫擬採用全數位式之陣列天線收發機，研發具匹配地形效應之陣列場型補償技術。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">為了能達到全空間偵測覆蓋，以獲取完整高度/仰角及距離資訊，於雷達鉛直向之多天線配置有其必要，而等間隔排列之收發天線單元因其幾何位置相異而對於地形效應衍生天線單元場型上響應各異，遂造成多天線數位波束成形上之嚴峻挑戰，更進一步考量低偵測角度面對前向散射多重路徑之干擾效應所造成的場型零陷及波束翹曲，無可避免地影響雷達擷取目標物之高度及距離，遂使得陣列天線系統需具備匹配地形效應之波束成形功能，以有效處理地形效應對於數位陣列天線系統造成的偵測效能劣化。另外為了開發對應之場型補償技術，在理論建模及實地量測需齊頭並進，因此本計畫也將發展一可供實驗之數位陣列天線系統以施行所開發之場型補償技術。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">1. 數位陣列天線相應於場域之系統建模。
2. 匹配地形之場型補償技術開發。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本案運用構想配合艦用先進主動相列雷達等先進數位陣列天線系統，建置系統時會因地形效應而對場型有所影響，因此將與學校合作開發數位陣列天線系統之匹配地形效應的場型補償技術，用以提升後續相關計畫 TRL。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>數位陣列天線系統之匹配地形效應的場型補償技術，目前僅完成資料收集，所以評定為 TRL2，因此希望透過本階段研究議題(1)數位陣列天線相應於場域之系統建模(2)匹配地形之場型補償技術開發等相關議題，研發雛型試製與量測，使其關鍵技術突破達到 TRL3 水準。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項
<table><tr><td>研究議題</td></tr><tr><td>議題(一)數位陣列天線相應於場域之系統建模。</td></tr><tr><td>議題(二)數位陣列天線相應於場域之系統量測。</td></tr></table>
113 年工項
<table><tr><td>研究議題</td></tr><tr><td>議題(一)匹配地形之場型補償技術開發。</td></tr><tr><td>議題(二)匹配地形之場型補償實地量測。</td></tr></table>
本案「數位陣列天線系統之匹配地形效應的場型補償技術」規劃為 2 年期之研究計畫，依計畫發展規劃採用全數位式之陣列天線收發機，研發具匹配地形效應之陣列場型補償技術開發，解決受地形效應對陣列天線場型所產生的影響。以下是各年議題的工作分配:
112 年
1. 數位陣列天線相應於場域之系統建模(預判承接單位為校方)
2. 數位陣列天線相應於場域之系統量測(預判承接單位為校方)
113 年
1. 匹配地形之場型補償技術開發(預判承接單位為校方)
2. 匹配地形之場型補償實地量測(預判承接單位為校方)</td></tr>
</table>

八	預期成果	績效指標： 1.數位陣列天線相應於場域之系統建模技術。 2.匹配地形之場型補償技術開發。 預期成果： 本案與學校合作開發數位陣列天線系統之匹配地形效應的場型補償技術，俾供後續研製數位陣列天線系統陸用或海用雷達之參考運用。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：
應用於高取樣率主動式雷達收發機之無預置鑑別資料庫目標辨識演算法則研析與實現(1/2)</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：電子所相列雷達組　聯絡人：鄭元斌　　電話：03-4712201#355742</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1. 現今防空系統需應付的目標數量、種類日新月異且為數眾多，在無進一步目標分類情資而全面接戰的話，防禦系統極易飽合攤瘓。
2. 規畫發展適用於下一代高頻寬雷達系統，藉由其高解析度之收發調變/解調之規格，得以擷取外型尺寸具有差異性之飛行器/船舶之外型特徵資訊，作為目標鑑別的判斷依據與手段。。
3. 有效的目標情資分類能力，能提昇接戰任務的執行效率和接戰容量。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">1. 以現代具電戰防禦作為的飛行器為例，於防禦階段，會釋放誘餌或 chaff，使防禦系統難以應對，所以防空系統之任務需由大量的誘餌、金屬碎片、伴行物體中，區別出目標之差異，進而作為目標之真偽/威脅度之判別依據之一，是現代防空系統中最為關鍵的核心技術之一，也直接關係到系統的防禦成敗。
2. 以適應性特徵波形之演算，於早期預警追蹤之彈頭/飛行器/船舶之即時外型產生最佳響應之波形，故不須全然依靠先期預置之目標物之外型、旋轉或微頻譜等資料庫，即可做為目標辨識之多重手段之一。
3. 彈導飛彈頭/誘標彈和多樣的機敏飛行器與船舶載具，其特徵資料庫預獲不易，因此以即時外型產生特徵波形，不仰賴先期獲取彈頭之外型、旋轉或微頻譜等資料庫，可做為真偽彈頭與不同種類之目標辨別之多重手段之一。</td></tr>
</table>

三	研究議題	1. 使用自適應波形雷達演算法技術，分析敵戰術導彈自身防禦的各種不同場景包含 a)無長度變化：誘餌破片、鋁箔干擾絲等 b)有長度變化：推進器或爆炸螺栓脫離 c)目標自身特徵：旋轉型目標、部分旋轉型、非旋轉型等特徵， d)目標自身特徵強弱：高旋轉部件、低旋轉部件 2. 使用自適應波形雷達演算法技術，分析防禦系統接戰目標類型: a) 民航機，以 B747, B737 模型為例 b) 戰機，以 F16, B52 模型為例 c) 旋翼機類型區別 d) UAV 類型區別 e) 船艦類型區別 3. 即時擷取目標物之特徵後，認知型雷達演算法技術可立即調整應用本研究之優化演算法，即時調整演算法相關參數。 4. 以異質信號處理器(ARM)為架構，搭配 RFSoC，實現適應性波形演算法則收發端之運算/調變之硬體雛型系統架構實現。 5. 針對不同目標之特徵並在偵測次數下限制要求下(預設 3-5 次更新資訊次數)，以及有限的訊號調製頻寬(16 MHz ~100MHz)，妥善應用更新次數之機會以對應不同場景之威脅。 6. 建構收發實驗平台，於微波暗房作物理縮距實驗與物理電磁模擬實驗。
四	運用構想	透過多重偵搜目標場景之想定模擬驗證，發展無預置資料庫之自適應性的訊號處理法則，來鑑別目標威脅度之高/低，以利接戰系統資源做合理之分配規劃。
五	技術備便水準評估	於 112 年對本專案其技術概念結合實際雷達應用上之規格限制，作效能與處理想定之模擬驗證和闡述，可達技術水準 TRL2。 預計於 113 年，透過演算法於硬體測試功板的初步實現與測試，對關鍵功能進行實作分析與證明概念特性，使關鍵技術達到 TRL3 水準。

<table>
<tr>
<td>六</td>
<td>期程
工項</td>
<td>112 年工項
<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>第一階:目標特徵波形擷取之計算原理及模擬驗證,特徵波形於有限調制頻寬條件下之波形之比較與模擬驗證</td></tr>
<tr><td>第二階:應用於不同飛行器或船艦之類型鑑別模擬分析與電磁模型建置</td></tr>
<tr><td>第三階:演算法運算硬體證功能測試板建置與特徵波形演算法於硬體波形產生運算器之初步實現規畫</td></tr>
</table>
113 年工項
<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>第四階:射頻驗證之 RFSOC 測試平台建置與特徵波形於 RFSoC 調變/解調變之硬體架構初步實現</td></tr>
<tr><td>第五階:暗房實驗之測試吊俱架設、設施佈線與調校</td></tr>
<tr><td>第六階:基於微波暗房與物理電磁實際模擬模型,作不同飛行器或船艦物理縮距之類型鑑別與驗證分析</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>八</td>
<td>預期
成果</td>
<td>績效指標:
1. 目標特徵波形擷取之計算原理及模擬驗證。
2. 特徵波形於有限調製頻寬條件下之波形之比較與模擬驗證。
3. 特徵波形演算法於硬體波形產生運算器之初步實現。
4. 特徵波形於 RFSoC 調變/解調變之硬體架構初步實現
5. 應用於目標旋轉特徵變化之目標偵測率分析。
6. 應用於不同飛行器或船艦之類型鑑別與微波驗證。
7. 完成期中及期末報告。
8. 期末報告產出,含 8 份書面資料及光碟資料檔 1 份。

預期成果:
新一代高取樣率之雷達訊號處理器硬體設計架構下,以此自適應性延展波形演算法,擷取/判斷目標特徵值,提供了以特徵波形維度的目標辨別的資訊,對雷達目標辨識能力,提供多重面向的作為與手段。</td>
</tr>
</table>

九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

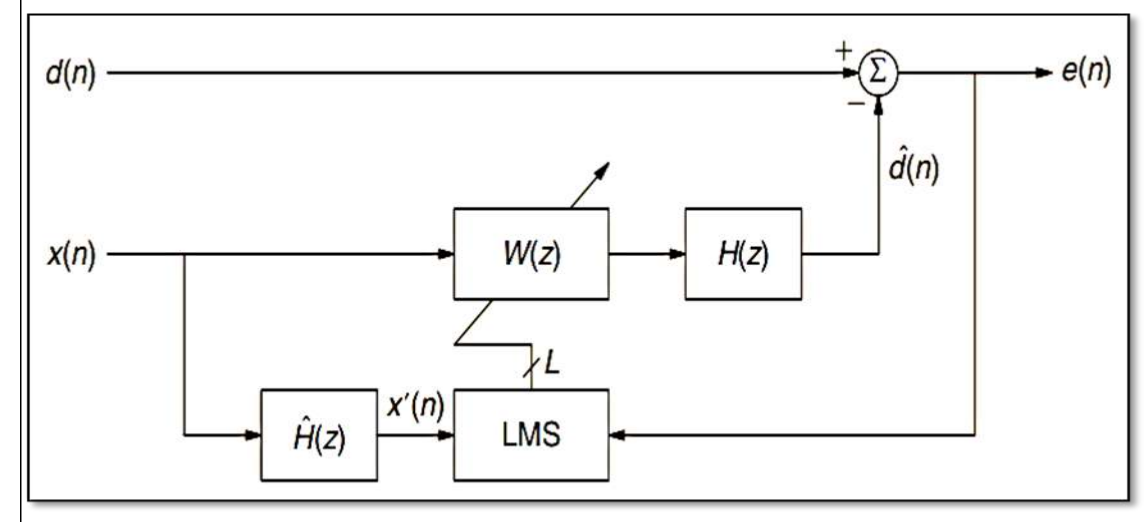
（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：
應用於數位波束合成雷達系統之低仰角雜波與多路徑干擾抑制演算法則研析</td><td>計畫期程：112 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：　電子所相列雷達組 聯絡人：鄭元斌　　電話：03-4712201#355742</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">1. 陸/海用雷達系統所面對最大的挑戰之一為低仰角波束偵搜時，回波信號會受到大量的背景雜波和目標多路徑雜訊干擾。當主要波瓣在低視角工作時，不論波束主瓣的大小，環境陸海雜波與多徑效應(Multipath)就會伴隨接收信號通道進入。
2. 雷達主迴波訊號伴隨背景雜波與多徑效應訊號進入時，如何主動或被動消除干擾，預期研究以數位波束成型技術(DBF)動態取得特定方向與特性之雜波迴授信號，建構數位處理器執行雜訊系統控制架構，進行訊號接收及數位濾波之分析與模擬，以產生一個與雜訊源大小相同相位相反的波形訊號，形成破壞性干涉來消弭干擾訊號。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">1. 解析低掠角背景雜波特性:
a) 固定環境:包含城市建築、室內環境，其多徑效應較為固定，變化因素多為使用頻段、主、副瓣大小及環境雜訊值(Noise Level)。
b) 變異環境:包含樹林、海面、陸地等環境，其對 S Band 之多徑效應，應配合環境模型建立並分析直視路徑(Line of sight)與多徑效應之間的特徵。
c) 解析出環境的脈衝響應(Impulse response)，最終決定使用的雷達系統的參數。
2. 藉由主動式雜訊控制技術探討，結合數位波束合成架構，取得雜訊源作為信號消除參考通道，以建立可因應特殊環境的自適應主動降干擾系統。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>3. 本研究區分為三階段執行，分別為:1)雷達傳輸多路徑環境設計，2)自適應主動多徑與雜訊消除設計，3)系統整合設計之三個階段。其中第二階段的主動多路徑雜訊抑制研究為關鍵的基礎項目，第三階段是進行降雜訊處理架構與雷達場景模擬訊號整合運用。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td>

1. 運用 FXLMS（Filter-x Least Mean Square）演算法於一維通道的 Acoustic Noise Cancelling (ANC)系統的概念（如圖 1），此設計特別針對可能使回授式 ANC 系統產生不穩定的第二路徑轉移函數來實施補償修正，其利用離線鑑別建立數學模式，使得第二路徑轉移函數估測值可近似實際值，以增加系統控制之穩定性，此降雜訊效果亦使得 FXLMS 演算法在 ANC 系統中的運用更加廣泛，



故為目前 noise canceling 系統中最普遍的控制方式。

圖 1 . FXLMS 演算法運用於 ANC 系統方塊圖

2. 此案規劃之背景 clutter 雜波和多徑干擾信號場景，如圖 2:

1) 藍波束、黃實線:DBF main lobe 指向 (0°),得到飛行器迴波和 clutter 迴波(紅 x)，d(n)

2) 紅虛線: clutter 迴波的來源(-6°)

</td></tr>
</table>

3) 紅波束:DBF 指向對準雜波來向 (-6°)，將其增益調至與 0° 之主波束於-6° 相同的增益值，作為主動濾波器雜訊迴路 x(n)之參考信號通道。

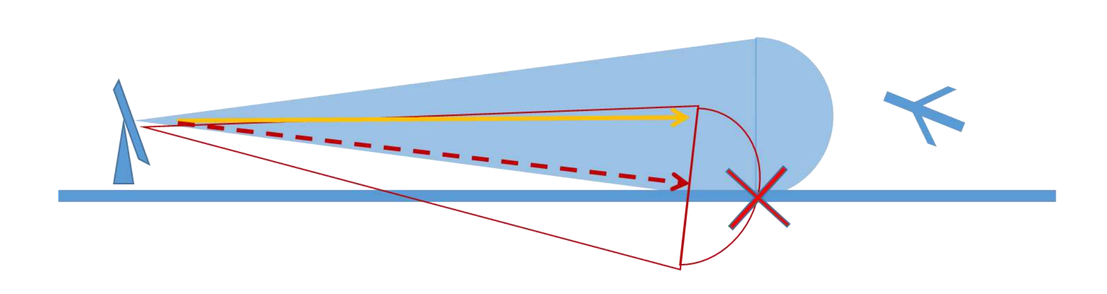


圖 2．主動降噪濾波器於 DBF 雷達系統應用場景示意圖

3. 以 DBF 架構所演繹之以主動濾波器雜波消除範例，如圖 3。

1) 圖左:輸入包含一定向訊號(紅圈)，一定向 (虛線紅圈)和一變向、變頻干擾信號(虛線紅方塊)之模擬雜訊場景，圖中為其各別能量 3D 圖。

2) 以 Beamformer 對準各信號與雜波信號源，作為雜訊抑制迴路之考信號，使訊號誤差值收斂於最小的 space-time adaptive processing (STAP)結果。

3) 圖右:為 STAP 之後，干擾信號和動態之 chirping 干擾，依濾波設計所壓抑，而所欲訊號留存(紅圈)。

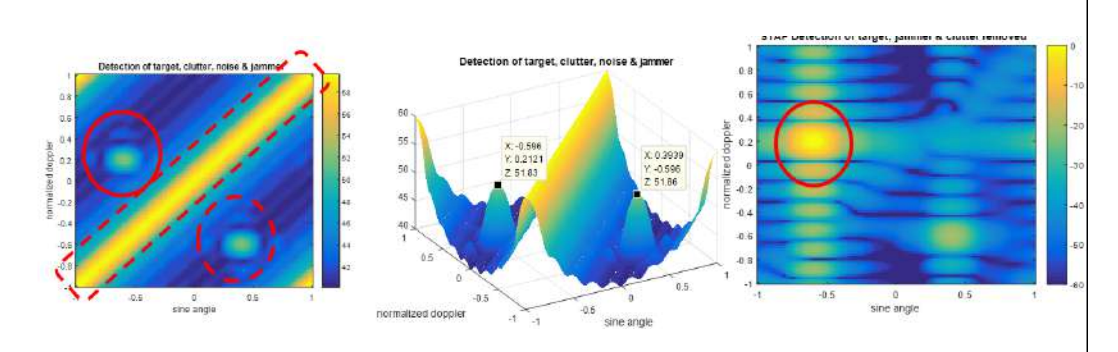


圖 3．主動濾波技術運用於 DBF 系統之干擾消除示意圖

<table>
<tr><td></td><td></td><td>4. 發展合宜之主動雜訊消除演算法則，將訊號進行解析與合成，推導控制訊號路徑的轉移函數，並賦予適當的權重，透過軟體模擬發展「自適應主動雜訊控制器」設計演算法，期系統於特定環境中能發揮最佳效益，抑制背景雜訊對主要信號之影響。
5. 電磁模擬之多路徑信號產生，執行演算法之目標擷取與多目標雜訊消除能力評估與驗證。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>發展應用於數位波束合成雷達系統的低仰角雜波以及多徑干擾消除信號處理架構設計，可運用於陸、海用偵搜雷達系統中，期對低仰角場景之信號處理能力精進。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>本專案先期技術概念與應用評定為 TRL1，透過本階段對關鍵功能進行分析與證明概念特性，期使關鍵技術達到 TRL2 水準。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年工項<table>
<tr><th>研究議題</th></tr>
<tr><td>第一階:雷達多路徑和環境雜訊干擾設計，應用於 DBF 雷達系統之雜訊消除技術文獻探討。</td></tr>
<tr><td>第二階:主動雜訊抑制研究與雷達系統之自適應主動多徑雜訊消除設計。</td></tr>
<tr><td>第三階:系統整合設計，降雜訊處理架構與雷達場景模擬訊號整合運用和演證。</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>績效指標：
1. 陸/海面低仰角雜波與多徑效應之分析及建模。
2. 發展應用於數位波束合成雷達系統的低仰角雜波以及多徑干擾消除信號處理法則設計。
3. 完成上述演算法則模擬及性效能分析，並評估處裡法則之運算複雜度。
4. 完成期中及期末報告。

預期成果：
透過雷達雜訊與多徑干擾的分析,發展合適雷達系統場景的自適應主動多徑雜訊消除之訊號處理架構設計，以增進陸、海用偵搜雷達系統，抑制背景雜波之能力。</td></tr>
</table>

九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：電離層越地平傳播先導試驗技術建立(1/3)			計畫期程：112-114 年
提案單位：電子所地面雷達組　聯絡人：吳剛宏　　電話：03-4712201#355918			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	中科院於先前專案中，已於彭佳嶼和東莒建置高頻地波雷達，可觀測距離在 200 公里以內的海面目標物。惟若欲偵測距離遠達 500 公里以上的目標物，就必須借助電離層雷達的越地平傳播才能達到任務。本院已於 109 年度執行「台灣上空電離層環境參數與電波傳播通道特性之研究」學合案，預計在 111 年度執行「台灣地區電離層電波傳播通道越地平監測偵蒐通信分析與研究」學合案。執行完備後，將可建立台灣地區自主的電離層越地平傳播數值模擬與預報模式，得以分析、模擬並預報某選定的電離層越地平傳播鏈路的最佳操作頻率、越地平傳播路徑、電波極化特性、電波功率衰減、雷達波束在目標區的投射足跡(foot print)的範圍等重要參數。本計畫擬於 3 年時間內，針對台灣–東沙島傳播通道鏈路，完成電離層越地平高頻傳播鏈路的開發與建置，以實地驗證自主開發出的電離層越地平傳播數值模擬與預報模式的有效性與可行性，以利後續更進一步的應用。	
二	計畫目的	本計畫擬針對台灣-東沙島之間的電波傳播路徑，進行電離層越地平高頻傳播鏈路的先導試驗，初步執行電離層越地平訊息傳遞，並根據實地的電離層越地平雷達波傳播結果，驗證所開發的電離層越地平傳播數值模擬與預報模式的有效性與可行性，作為日後建置操作型電離層越地平目標偵蒐與雷達監測偵蒐鏈路的參考與依據。	
三	研究議題	一、中壢-東沙島電離層越地平傳播鏈路規格擬定與整合、測試、驗證與運作。 二、中壢-東沙島電離層越地平傳播通道的數值模擬與雷達波實地傳播結果的驗證比對與差異分析。	
四	運用構想	本計畫執行結果，除可運用於中壢-東沙島間的傳播鏈路之外，未來建構相關系統經適當強化與調整後，亦可運用於其他電離層越地平傳播距離超過 500 公里以上之地表或海面(如太平島、或釣魚台列島附近、東海、南海等區域)目標物的偵蒐與監測上；透過更改發射頻率，亦可運用在天波地波雷達運用上，利用台灣架設電離層越地平天線進行發射，軍艦上裝載地波雷達進行接收，可推進雷達觀測涵蓋範圍。	

<table>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>112 年-113 年進行越地平傳播通道鏈路建置並進行傳播通道之模擬，進行技術概念策定，可達技術備便水準 TRL2。
預期 114 年達成越地平鏈路上的實地驗證，對關鍵功能進行分析與實驗/證明概念特性，可達技術備便水準 TRL3。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>112 年：電離層越地平傳播通道的模擬、雷達硬體架構的確認、相關模組(包含發射/接收模組、天線、雷達控制與資料擷取模組、時間同步模組)的購置、開發傳播鏈路演算法、場地場勘與整地等。
113 年：雷達軟硬體架構的驗收、組裝、演算法測試、調校，天線基座施工、架設、佈線與匹配、機房整建(水電配線、空調、網路、防水、保全、防雷、模組校驗、環境監測等)。
114 年：持續 113 年未完成之工項，執行本島−東沙島越地平傳播鏈路驗證，確認模擬電波訊號與實際電波鏈路是否一致。
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>電離層越地平傳播通道的模擬、相關模組規格的確認(112)</td></tr><tr><td>相關模組購置以及開發演算法軟體(112)</td></tr><tr><td>站址場勘與整地(112)</td></tr></table>
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>軟硬體與模組的驗收、組裝、整合測試、調校(113)</td></tr><tr><td>天線基座施工、架設、佈線與匹配、機房整建(113)</td></tr></table>
<table><tr><th>研究議題</th></tr><tr><td>執行中壢-東沙島越地平傳播鏈路傳播測試(114)</td></tr><tr><td>完成硬體的驗證與建置(114)</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>完成中壢-東沙島傳播鏈路電離層越地平通道先導試驗的建置，利用實際傳播通道傳播與模擬資料相互驗證，可初步執行電離層越地平通信、訊息傳遞及傳播通道的驗證，提供後續建置新系統的參考依據。
該案為超視距地波雷達-地波與天波同調收發與解調之增程監測技術。</td></tr>
</table>

九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：AP 超臨界細粒化及鈉鉀離子分離技術開發</td><td>計畫期程：112 年</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：系製中心化研組　聯絡人：郭哲成/劉永賢
電話：(02)2671-2711#313529/313500</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>一</td><td>計畫背景</td><td colspan="2">(一) AP 超臨界細粒化技術開發：
1.AP(過氯酸銨)是複合及 TPE 推進劑所屬之固態推進機最常用之氧化劑，在固態推進機所占比重高達 60-80%，AP 於推進機灌製作業，需由不同粒徑 AP 混摻，以達高裝填目的，因此 AP 結晶的粒徑及形貌，將影響整體推進性能。
2.目前 AP 主要粒徑為 225 及 400 微米二規格，對於提高裝填密度，需開發小粒徑之 AP(50-100)，以提升飛彈之推進性能。
3.目前細粒徑 AP 係以機械強制研磨、破碎結晶方式執行，故此法產出之細粒徑 AP 晶體之形貌為不規則，對裝填密度提升有所限制，國外文獻提出以超臨界方式執行 AP 再結晶，產出規則型貌之微粒，以取代研磨細粒 AP 及裝填效能提升之研究。
(二) AP 鈉鉀離子分離技術開發：
1.依各國文獻探討，AP 純化過程之再結晶機制，鈉與鉀離子會優先與 AP 成核包覆其中，故最終集中於較大顆粒之結晶內，每批次作業，須剔除約一成之半成品，無形中為成本之耗費。
2.藉由分離集中於 AP 大顆粒半成品內之較高濃度之鈉、鉀離子，將原非合格品之 AP 回收再使用，可達資源回收再利用之目的，並減少廢品庫存或委外處理銷燬之費用。</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">(一) AP 超臨界細粒化技術開發：
1.本研究將藉由超臨界設備，導入原料於特殊操作條件下，快速溶解，操控結晶之技術及參數之建立，以製作微細粒，均一型貌之產品。
2.藉由本設備及技術之建立，將 AP 執行溶解、再結晶步驟，調控生成細粒徑、形貌均一之 AP，最終用以取代現行機械研磨方式製作產出形貌狀況不佳之 AP，進而提升裝填密度及推進效能。
(二) AP 鈉鉀離子分離技術開發：
1.針對鈉、鉀離子含量過高之非合格品，本計畫將研析設計篩選鈉、鉀離子分離之強效樹脂，以確認鈉、鉀標靶的結合特性。
2.接續輔以串聯式模擬移動床(SMB, simulated moving bed)技術，</td></tr>
</table>

		進行各離子之選別篩除分離試驗，以達連續式快速分離機制之建立，將非合格之 AP 回收再利用，減少廢品委外處理成本支出及減少庫儲之壓力。
三	研究議題	(一) AP 超臨界細粒化技術開發： 1.AP 以水為載體選配，配合超臨界之溫壓條件及 AP 分子本身極性之考量，以利後續溶解及再結晶之操作。 2.AP 微粒化：透過超臨界技術及操作參數調控，進行原料之高效溶解、微粒化再結晶；主要需考慮在不同溫度及壓力條件下進行原料 微粒化，控制因子計有萃取溫度 (T_{ext})、萃取壓力(P_{ext})以及收集瓶溫度(T_{post})等做為實驗參數，並結合田口實驗法，以不同噴嘴內徑(D_N)製作較小粒徑，找出最佳參數。 3.超臨界設備技術最大優點是進行微粒化操作時，具有操作方法簡單及控制參數易調變，其具有無毒性、不燃性、無腐蝕性、易分離，對環境衝擊小，在相對較溫和環境下即能達到超臨界狀態等優點。 4.以實驗級超臨界設備設備尋求獲得參數最佳化後，進行放量之產能評估。 (二) AP 鈉鉀離子分離技術開發： 1.以離子層析法，建立快速篩選鈉、鉀與銨根離子之方法，並以前沿層析法(frontal chromatography)，篩選商售弱酸型陽離子交換樹脂，建立快速選別分離不同離子之層析機制。 2.設計系列串聯之模擬移動床(SMB, simulated moving bed)技術，進行各離子之選別篩除分離試驗，經參數優化及再現性測試後，評估量產產能及回收率之評估。
四	運用構想	(一) AP 超臨界細粒化技術開發： 1.超臨界技術除能夠將不同原料微小化處理外，亦容易製成均一型貌之結晶，提高 AP 與其他推進藥混拌均勻性，增加裝填密度，以提升固體推進劑效能。 2.本案實驗室級之超臨界設備研究獲得之調控參數，後續規劃於量產設備執行擴量生產，預期產出之細粒化 AP，可有效支援複合及 TPE 高能推進機研發案中，所需選配外觀型貌均一之微粒化 AP，以確保推進機之裝填密度有效提升，進而改善推進效能。 3.本案超臨界操控技術，亦可運用於其他延期藥、照明劑中，使用之相關原料進行改質，控制粒徑及型貌操作，針對品質掌控，亦可有效提升。 (二) AP 鈉鉀離子分離技術開發： 1. 建立一套針對 AP 非合格品，回收再利用系統，以達減少廢品之庫存壓力，另非規格品回收再利用，可達節省成本之效益。 2. 回收之非規格品，可導入生產運用，若以每年 50 噸計算，原非

		規格品預計產出5噸，以回收率七成計算，本案建立預期可回收3.5噸，一公斤原料約500元，預計可節省採購原料約175萬元。 3.相關離子篩選及分離技術之建立，後續可導入其他如表處廢水中，關注之汙染離子篩選，可有效減少廢汙泥產量及委外處理衍生之費用。
五	技術備便水準評估	(一) AP超臨界細粒化技術開發： 1.目標： (1)以超臨界方式，執行細粒化(100-50微米)、型貌均一之AP生產調控技術建立。 (2)以田口實驗方法，獲得目標粒徑之最佳操作參數。 (3)完成不同等級量產之產能評估，以利取代機械研磨執行之檢討。 (4)獲得超臨界方法運用於其他原料粒徑控制之技術能量。 2.查核點： (1)完成調控關鍵參數因子建立(溫、壓、閥件孔徑等)。 (2)以田口法獲得最佳化之選擇參數(以前述關鍵因子，搭配三水準方法，實驗評估獲取最佳參數)。 (3)粒徑、型貌10次以上產出之檢測及穩定性追蹤查核。 (4)產能評估：以1、5、10公斤級產能，執行設備硬體費用估算、產出效率及成本效益等分析資料。 3.評量指標： (1)粒徑分布控制50-100微米，可調控。 (2)形貌均一完整，無非規則尖角。 (3)預估本案完成後技術可達到TRL 4至5。 (二) AP鈉鉀離子分離技術開發：1.目標 (1)降低非合格品AP之 鈉、鉀離子濃度≦0.05% ，達合格原料使用標準，將原不合格品轉變為可再純化製程之原料，投入生產。 (2)建立分離鈉、鉀離子之SMB系統操作參數，後續評估自行建立設備或委外租用設備，執行不合格品AP之 回收，降低生產購料成品，減少廢品積聚及銷燬成本支出，並達回收再利用之目標。 2.查核點： (1)完成商售陽離子交換樹脂建立快速選別分離之層析機制。 (2)選定樹脂之ASPEN套裝軟體進行等溫吸附、軸向擴散及質傳係數等參數之收集建立。 (3)模擬移動床(SMB,simulated moving bed)各離子之分離質傳最佳參數建立。 (4)過氯酸銨分子中，分離鈉、鉀與銨根離子之SMB系統參數優化再現性測試(3批次以上)。

(5)擴量產能評估： 10、100 公斤級產能，執行設備硬體費用估算、產出、回收效率及成本效益等分析資料。

3.評量指標：

(1)陽離子樹脂 層析 AP 中之 鈉、鉀及銨根離子篩選分離技術建立。

(2) AP 中之 鈉、鉀及銨根離子於模擬移動床層析分離系統配置、操作技術建立。

(3)模擬移動床層析分離非合品 AP 之 鈉、鉀離子濃度≦0.05%。

(4)預估本案完成後技術可達到 TRL 4 至 5。

六 期程工項

填寫說明：請分年列述預劃工項，並說明執行項目，若涉及實體產出，應律定測試驗證方式。

(一) AP 超臨界細粒化技術開發：

期程 項目	估比%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
調控關鍵參數收集測試	15	■	■	■									
田口法獲得最佳化之匹配條件參數建立(以每因子三水準方法評估最佳參數)	30			■	■	■	■	■					
粒徑、型貌多次(10 次測試以上)產出成品確定(粒徑 50-100 微米，均一型貌)	30					■	■	■	■	■	■		
多批產出穩定性測試(需有五批同參數操控條件產出)	15									■	■	■	
擴量產能評估(評估批次 1、5、10 公斤級產能分析)	10										■	■	■

備註：產出之 AP 結晶，配合以顯微鏡比對分析。

(二) AP 鈉鉀離子分離技術開發：

期程 項目	估比%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
離子交換樹脂建立快速選別分離之層析機制	10	■	■										
等溫吸附、軸向擴散及質傳係數等參數之收集建立	25		■	■	■								
模擬移動床最佳參數建立(鈉、鉀離子濃度≦0.05%)	35				■	■	■	■	■	■	■		
模擬移動床系統技術建立(鈉、鉀離子濃度≦0.05%)	15									■	■	■	
系統再現性及擴量產能評估	15										■	■	■

八	預期成果	(一) AP 超臨界細粒化技術開發： 1.透過田口分析法，找出最佳參數，將 AP 微粒化至小顆粒(50-100um)，並完成均一型貌微粒之 AP 製備。 2.評估以本超臨界再結晶法，取代機械研磨方式執行細粒化 AP 生產檢討，並可支援複合及 TPE 推進劑於細粒徑 AP 導入提升效能之之研發。 3.其他相關原料以超臨界方式，改善晶粒、晶型之調控技術之掌控及建立。 (二) AP 鈉鉀離子分離技術開發： 1.建立一套針對 AP 非合格品離子分離技術(鈉、鉀離子濃度≦0.05%)，以達回收再利用及節省成本為目標。 2.建立離子層析技術，可為後續相關化學成分層析分離及檢測，尋求快速篩選分離層析之技術開發，以達原料提純或回收機制建立。 3.解決中心非合格 AP 庫存壓力(目前累積至 110 噸)，達到回收再利用之目標。 4.回收之非規格品，可導入生產運用，若以每年 50 噸計算，原非規格品預計產出 5 噸，以回收率七成計算，本案建立預期可回收 3.5 噸，以目前採購原料 一公斤約 500 元計，預計可節省採購原料費用約 175 萬元。
九	研發成果歸屬	本計畫研發成果歸屬：□國防部□中科院■學研機構。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：定翼 UAV 影像追蹤導引技術開發</td><td>計畫期程：112-114 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：航太工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：航空所結材組　聯絡人：李進發　電話：04-27023051#503328</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本案規劃藉由學術合作，發展兩項關鍵技術：(1)基於影像之追蹤飛行技術；(2)基於影像之精準導引技術。未來於實務應用時，可透過影像識別技術尋獲目標後，持續執行目標追蹤(Target Tracking)並使無人機於其上空徘徊(Loitering)，自主或確認後施行精準打擊。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
研發項目分為議題一、無人機 6D 參數模型建模；議題二、影像目獲系統；議題三、追蹤導引控制，各議題間之關係如計畫架構圖 2. 所示。
定翼 UAV 影像追蹤導引技術研發項目分為:影像目獲系統、光學酬載、目獲系統與 UAV 搭配、軟/硬體迴路模擬建置(SIL/HIL :Software In the Loop/ Hardware In the Loop)等。主要目的為開發一套定翼 UAV 載具飛行性能搭配合適目獲系統之飛行控制評估機制與流程。
規劃研發期程為 3 年(112~114 年)，112 年進行光學影像目獲系統初步設計，擬定光學影像與環架設計；113 年進行光學影像目獲系統細部設計、影像追蹤控制軟體開發、影像終端導引律開發；114 年則完成系統整合並建立軟/硬體迴路模擬平台可執行測試工作，獲得載具搭配目獲系統之特性資料，並分析最佳化載具性能與光學目獲系統之組合搭配。
定翼無人機影像目標追蹤導引技術，由於目獲系統由尋標器改為可見光酬載，故 UAV 構型改變相關載具 6D 參數亦須作相對應修正;影像目獲系統包含:環架設計、環架控制、影像辨識;追蹤導引控制包含:目標追蹤飛行、精準導引打擊、場景任務規劃。</td></tr>
</table>

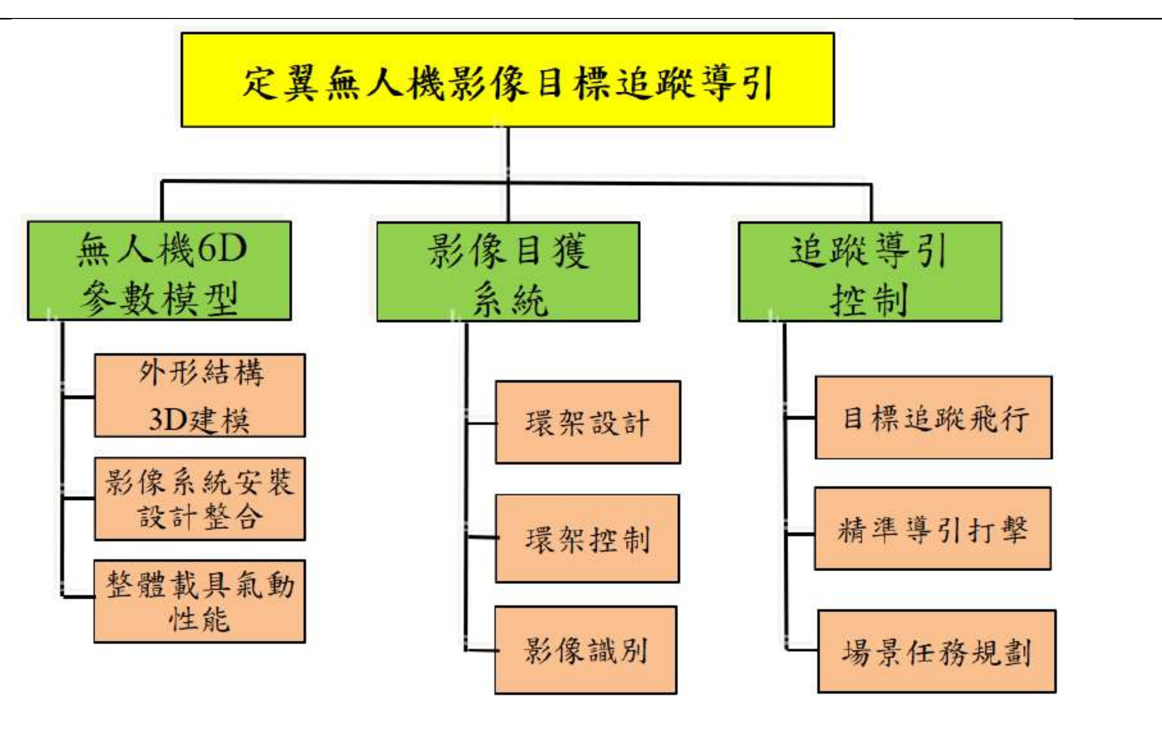


圖 2.研究議題架構圖

二、成果產出及需求規格

參考以色列 Harop 無人機具備環架光學影像功能與其使用場景，依據建立相關技術能量之需求，制訂本案成果產出。

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	定翼 UAV 搭配影像目獲系統架構設計	報告	1 本	1. 符合所需定翼 UAV 構型。 2. 含 2D 藍圖、3D 立體模型。
2	中科院	影像尋標器	硬體	1 套	1. 具備環架 (Gimbal) 2. Pan 方向>±90° 3. Tilt 方向: −120°, +30°
3	學研單位	基於影像之追蹤飛行技術	報告	1 本	符合所需定翼 UAV 構型進行影像追蹤

					飛行控制技術。
4	學研單位	基於影像之精準導引技術	報告	1本	符合所需定翼 UAV 構型進行精準導引控制技術。
5	學研單位	軟/硬體(SIL/HIL)迴路模擬測試平台	軟/硬體	1套	1. 可測試想定之定翼 UAV 構型。 2. 可重覆使用且具模組化參數。 3. 自主飛控系統程式碼，含影像辨識與鎖定演算法。 4. 任務分配與路徑規劃演算法。

三、驗測方式規劃

本案所開發之控制演算法皆可藉由軟/硬體迴路模擬測試平台執行測試驗證並以 3D 視覺化軟體呈現其模擬結果。

四	運用構想	本計畫屬創新應用研究，「定翼無人機影像追蹤導引技術開發」，其開發之技術可有效提升對地打擊目標種類，不侷限於雷達站目標，可主動搜尋陸面或海面目標特徵辨識後進行鎖定追蹤，UAV 可自主徘徊飛行目標物上方，無需消耗地面操作員人力進行長時間追蹤圓周盤旋，操作人員僅需確認目標即可;如通訊受干擾斷鏈可由 UAV 自行攻擊目標。 相關研發成果可擴展應用於自殺式或偵打一體 UAV，在現有同樣載具硬體基礎上，進行 UAV 之目獲系統的提升，由原來被動式(Passive)搜尋能力提升為主動式的影像辨識鎖定。同時，藉由本案相關軟體演算法可快速評估所需光電酬載的設計參數，依據追蹤目標物的不同，選用最具經濟效應的目獲系統與之搭配，根據分析結果可有效降低 UAV 載具成本與縮短未來 UAV 專案開發時程。
五	技術備便水	技術備便水準評估表詳如附件一。

<table>
<tr><td></td><td>準
評
估</td><td></td></tr>
<tr><td>六</td><td>期
程
工
項</td><td>一、議題分工及期程規劃
在分工方面，中科院主要負責載具6D飛行參數模型建立、光學影像機構設計製作、追蹤目標與場景設計、載具介面構改評估；學研單位則是協助光學環架控制軟體開發、影像追蹤軟體開發、軟/硬體迴路模擬測試平台、載具追蹤飛行控制軟體。各年度研究議題說明如下：

1. 中科院
112 年：
<u>1-1 影像目獲系統選用與環架初步設計</u>：
本案規劃由中科院執行相機與環架的規格研析與初步設計，將考量未來載具性能、任務需求與目標種類，執行 Pan-Tilt 光學相機系統之選用分析與研究，評估與無人機搭配後適用之任務區間。

<u>1-2 定翼無人機 6D 參數模型建立</u>：
建立 UAV 無人機 6D 模型可參數化調整飛行氣動參數，進而模擬不同種類之 UAV，並完成底層飛行控制架構，6D 模型可整合於如：ROS (Robot Operating System)、Gazebo、X-plane、Flightgear、Matlab 或其他可達相同功能之測試模擬平台。UAV 搭配目獲系統如圖 3.所示。


圖 3. UAV 搭配目獲系統示意圖

<u>1-3 路徑規劃任務場景設計</u>：
中科院負責律定 UAV 無人機飛行規格與模擬飛試場景規劃設計、目獲影像辨識欲追蹤目標與路徑之需求如:種類、外型、尺寸、顏色、移動速度、路徑、障礙、高危險區。

113 年：
<u>2-1 影像目獲系統細部設計</u>：</td></tr>
</table>

進行未來追蹤目標之辨識功能與環架控制功能開發，並將兩項功能整合成為影像目獲系統。軟體開發工項包含：目標辨識功能、目標鎖定功能、目獲模式設計。中科院負責辨識演算法開發與整合、光學環架與 UAV 載具本體安裝介面整合、軟體開發工項整合。

2-2 基於影像之追蹤導引律技術架構設計：

2.2.1 目標追蹤飛行控制：

設計無人機於遠方偵測並鎖定目標物後，導引載機接近目標物並於其上空盤旋的路徑態樣。此飛行模式依據影像目獲系統之環架角度變化而調整無人機航向命令，使偵蒐目標物可持續位於影像畫面中，中科院負責 UAV 控制律之架構設計。地面目標模型建立可分為敵我兩種目標，作為 UAV 光學影像之訓練與識別，驗證敵我識別之演算法學習案例。

2.2.2 精準導引打擊技術：

接續盤旋(Loitering)行為，於接收到攻擊指令後，導引無人機對正目標物(Target)，並持續依據影像目獲系統所提供的相對定位資訊，控制無人機姿態對目標物做精準打擊。該技術需考量風的擾動，於不同模擬情境驗證其控制強健性，中科院負責 UAV 導引律之架構設計。追蹤導引與精準打擊模式示意圖如圖 4.所示。

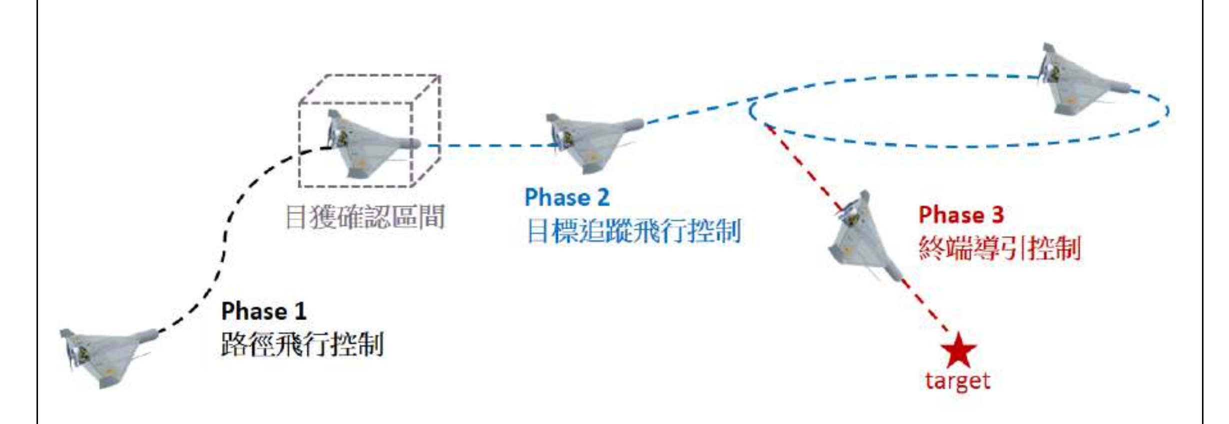


圖 4. UAV 追蹤導引與精準打擊模式

2-3.任務分配場景：

中科院負責擬定的任務清單(目標物位置)、機群清單、分配原則，通過優化的演算法實現目標值損傷(TVD: Target Value Damage)以 UAV 耗損最小的代價(Cost):如油量消耗、任務時間最短之多機任務分配之功能

展示。

114 年：

3-1.影像目獲飛行技術軟硬體整合：

此階段建構硬體迴路模擬(HIL)環境，將影像技術、硬體機構、飛控程式整合於 HIL 進行功能驗證。影像目獲系統可於鎖定目標物後，執行自主環架追蹤控制，使目標穩定保持於影像畫面中心，同時輸出環架角度及目標定位資訊至飛控系統。飛控系統可作基於影像的自主飛行，執行飛行追蹤及導引攻擊。中科院負責與現有飛控系統的移植與整合。

3-2 載機任務規劃場景設計：

中科院負責載機任務場景設計，考量多機任務規劃技術之架構。可依據分配原則的差異(如：最短任務時間、相同飛行時間…等)，展示與之對應的分配關係以及 2~3 機的飛行路徑(三維)，載具任務規劃功能展示如圖 5。

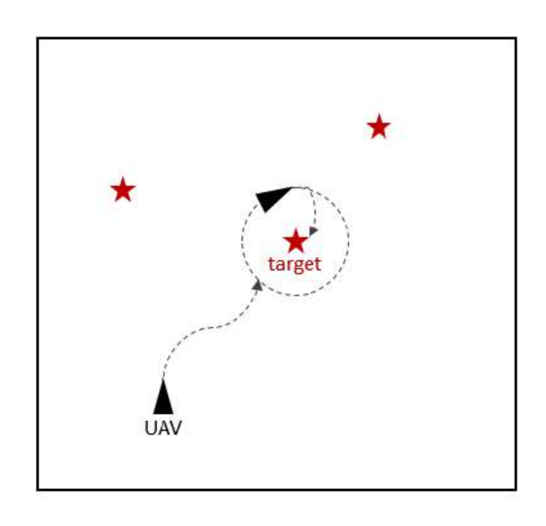


圖 5. 載機任務規劃功能展示

2. 學研單位

112 年：

1-1 影像目獲系統參數模型建立：

本案規劃由學校建立 Pan-Tilt 光學相機參數模型，可用與環架模擬參數設定，可模擬 UAV 搭配不同光學相機酬載之選項，供後續 SIL 軟體迴路模擬使用。

1-2 定翼無人機追蹤控制架構：

利用 UAV 無人機 6D 模型之飛行特性，並依據分析結果完成 UAV 追蹤控制律初步設計。建構追蹤目標物(Target)視覺化 3D 模型，整合於如：ROS (Robot Operating System)、Gazebo、X-plane、Flightgear、Matlab 或其他可達相同功能之測試模擬平台。

該模擬平台用以驗證影像處理演算法及基於影像之追蹤導引律，可呈現無人機與目標物之相對運動、提供 Pan-Tilt 光學相機拍攝到的模擬影像、可變化模擬情境(如：天候條件、光影變化、風擾動…等)、相機可參數化設定。

1-3 路徑規劃演算法開發：

給定目前載具狀態及目標資訊後，路徑規劃模組可產出基於已知障礙區域、可飛行區間、載機動態限制...等考量的飛行路徑(三維)。建立簡易介面可設置：載具現狀態、目標位置、地貌資訊，以視覺化展示路徑規劃演算成果。

113 年：

2-1 影像目獲系統環架控制：

學校負責光學影像環架(Gimbal)控制與影像處理演算法開發，提供程式碼及參數設定說明文件，環架控制軟體需整合目標辨識功能、目標鎖定功能、目獲模式設計，將目標偏差量測(θ_{EL}^{i}, θ_{AZ}^{i})影像識別狀態(鎖定/脫鎖/盲區)，兩軸環架角度(θ_{EL}^{g}, θ_{AZ}^{g})回饋至飛行控制迴路。

2-2 基於影像之追蹤導引技術控制程式開發：

依據無人機與偵蒐目標的運動模型，開發基於影像之飛控軟體，並整合於第一階段之測試模擬平台執行功能驗證：

學校負責撰寫 UAV 載具自主飛行控制程式與演算法，滿足場景設定之地面目標持續追蹤與終端精準打擊，控制程式可進行追蹤及終端攻擊模式切換，並將自主飛行控制程式融入 SIL 軟體迴路模擬。

2-3 任務分配演算法開發：

學校根據中科院擬定場景進行 UAV 任務分配演算法開發，依據分配原則的差異(如：最短任務時間、相同飛行時間…等)達成優化的演算法實現目標值損傷(TVD: Target Value Damage)開發。

114 年：

3-1 影像目獲飛行控制技術測試平台：

此階段建構硬體迴路模擬(HIL)環境，學校負責提供模擬環境之軟硬體建立，展示載具目標追蹤與終端導引攻擊之模擬視效畫面，需撰寫介面與使用說明文件。

3-2 載具任務規劃技術功能展示：

學校負責提供整合前階段的任務分配及路徑規劃演算法，完整開發多機任務規劃技術的架構與最佳演算法。可依據分配原則的差異(如：最短任務時間、相同飛行時間...等)，並在 SIL 或 HIL 內展示與之對應的分配關係以及 2~3 機的飛行路徑(三維)。

各議題展開之工項彙整如下：

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一、無人機6D參數模型建模	定翼無人機6D參數模型建立	中科院	112	建立可調整飛行氣動參數之無人機6D模型，並完成底層飛行控制架構，將6D模型整合於測試模擬平台。
	定翼無人機追蹤控制架構	學研單位		依無人機6D模型之飛行特性分析結果，完成追蹤控制律初步設計，建構追蹤目標物(Target)視覺化3D模型，並整合於測試模擬平台。(模擬平台可呈現提供Pan-Tilt光學相機拍攝到的模擬影像)
議題二、影像目獲系統	影像目獲系統選用與環架初步設計	中科院	112	考量未來載具性能、任務需求與目標種類，執行Pan-Tilt光學相機系統之選用分析與環架的規格研析與初步設計。
	影像目獲系統參數模型建立	學研單位		建立Pan-Tilte光學相機參數模型，與環架模擬參數整合，進行不同光學相機酬載之模擬，供SIL軟體迴路模擬使用。
	影像目獲系統細部設計	中科院	113	將目標辨識功能與環架控制功能整合為影像目獲系統。包含：目標辨識、目標鎖定、目獲模式設計。
	影像目獲系統環架控制	學研單位		光學影像環架控制與影像處理演算法開發，將環架控制軟體整

							合目標辨識功能、目標鎖定功能、目獲模式設計，並回饋至飛行控制迴路。	
			議題三、追蹤導引控制	路徑規劃任務場景設計	中科院	112	律定無人機飛行規格與飛行場景規劃、目獲影像辨識欲追蹤目標與路徑之需求。	
				路徑規劃演算法開發	學研單位		由路徑規劃模組產出已知飛行路徑，並以視覺化展示路徑規劃演算成果。	
				基於影像之追蹤導引律技術架構設計	中科院	113	依據影像目獲系統所提供之目標偏差資訊及環架運動狀態，設計導引飛機對目標作追蹤飛行並對其做精準打擊的控制程序，簡述如下。 a. 目標追蹤飛行控制： 於鎖定目標後，導引飛機由遠距進入預劃之盤旋範圍，並視與目標的相對關係變化飛機航向角，使影像系統可持續維持目標鎖定狀態。 第一階段以追蹤固定之目標物為飛行控制程式設計。 第二階段以追蹤移動之目標物為飛行控制程式設計。 b. 精準導引打擊技術： 設計精準導引律，當無人機接收到攻擊指令後，可導引無人機依循指定路徑對目標物(Target)做打擊。其中需考量不同高度或空速對攻擊成效的影響，並設計對應的模擬情境作驗證。 第一階段以攻擊固定之目標物為飛行控制導引程式設計。 第二階段以攻擊移動之目標物為飛行控制導引程式設計。	
				任務分配	中科院		由擬定的任務清單、機群清單、	

	場景			分配原則，通過演算法優化，實現目標值損傷(TVD：Target Value Damage)，並執行多機最佳化任務分配之功能展示。
	基於影像之追蹤導引技術控制程式開發	學研單位		開發基於影像之飛控軟體，並於測試模擬平台執行功能驗證： 建立可持續目標追蹤與終端精準打擊之自主飛行控制程式與演算法，並融入SIL軟體進行迴路模擬。(控制程式可進行追蹤及終端攻擊模式切換)
	任務分配演算法開發	學研單位		依需求場景進行無人機任務分配演算法開發。(演算法可依不同分配原則的差異(如：最短任務時間、相同飛行時間等)優化目標值損傷(TVD)。
	載機任務規劃場景設計	中科院	114	以多機任務規劃技術之架構，完成無人機任務場景設計。(可依不同分配原則的差異，展示與之對應的分配關係及飛行路徑。)
議題整合	影像目獲飛行技術軟硬體整合	中科院	114	將影像技術、硬體機構、飛控程式整合於HIL進行功能驗證。
	影像目獲飛行控制技術測試平台	學研單位	114	建構硬體迴路模擬(HIL)環境，並展示目標追蹤與終端導引攻擊之模擬畫面。
	載具任務規劃技術功能展示	學研單位	114	整合任務分配及路徑規劃演算法，開發多機任務規劃的最佳化演算法，於SIL或HIL內展示與之對應的分配關係及飛行路徑。

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
議題一、無人機 6D 參數模型建模			

議題二、影像目獲系統			
議題三、追蹤導引控制			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
議題二、影像目獲系統			
議題三、追蹤導引控制			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
議題三、追蹤導引控制			
議題整合			
總計			

七、成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 補助項目	第一年(112年)		第二年(113年)		第三年(114年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費(a+b+c)							
a. 研究人力費							
b. 材料、耗材及雜項費用							
c. 差旅費							
研究設備費							
管理費							
合計							

二、重大研究設備說明

金額單位：仟元

設備名稱 (中文/英文)	說明	數量	單價	金額	建置場域	結案後 設備規劃
無						

八、預期成果

將建立一套 UAV 載具飛行性能搭配合適目獲系統之飛行控制流程評估機制，此套架構流程可正確估算出不同 UAV 載具搭配不同目獲系統之追蹤鎖定能力與終端導引精度能力。可搭配任務分配，在 UAV 設計階段有系統進行整體性能評估與作戰場景規劃，加速 UAV 系統設計循環，並可使目獲系統成本效益具體化。

本案研發之相關軟體演算法流程可快速執行光電酬載參數設計，應用於現有或未來各式定翼 UAV 之主動式目標尋獲與追蹤功能，提升 UAV 整體自主飛行與監偵功能,可運用各式定翼 UAV 自主飛行減少操作人員追蹤目標之負擔。

獲得先進 UAV 發展之關鍵技術：影像追蹤飛行技術(Vision-Based Autonomous Flight and Tracking)、精準打擊技術(Precisely Strike)，提升

		單機任務性能與多樣性，俾利未來高自主無人機技術佈局。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	目標物影像辨識	2	本所具有靜態與近距離物體影像辨識技術。但對於針對未來需追蹤之移動目標及其種類需物進行深度學習提升辨識精準度與辨識速度。	4	對於追蹤之移動目標物需有足夠之資料庫(data base)方可執行training。對於辨識速度需提升軟硬體性能。
2	基於影像之追蹤飛行技術	2	本所已於銳案驗證酬載跟隨飛行模式，由人員操控酬載環架使偵蒐目標維持於影像畫面中心，載具即可做對應的自主飛行(免除對載具運動的直接性操控)但未具備自主環架控制。	4	影像系統之維持鎖定能力可能影響自主追蹤飛行的表現。
3	基於影像之精準導引技術	2	本所已於劍案驗證基於被動式尋標器的終端導控技術。 但非基於影像之精準導引。	4	導引律感測源將變更為影像式目獲系統，其性能可能影響終端攻擊程序及擊靶誤差。

註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術</td><td>計畫期程：112-113 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：控制技術(含自動化、智慧化等)</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：飛彈火箭研究所前瞻研發組　　聯絡人：邱鸞嬌
電話：03-47122201#352310</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫目的：針對航訓模擬場域環境下，
1. 開發可於高G環境，評估飛行員G耐力與警示機制演算法。
2. 開發可於低壓低氧環境，評估飛行員低壓缺氧耐受性與警示機制演算法。
3. 開發可維護飛行員訓練與飛航安全之飛行適能快速評估技術。
4. 開發針對特殊飛行模擬訓練裝備(低壓艙、離心機)之先進資料擷取與傳輸技術。
5. 開發耐受低壓高G環境之航空生理感測雛型裝置，以及生理監測評估系統。
6. 完成低壓艙、離心機之模擬飛行訓練科目規劃與場域驗證。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
本計畫「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」可分為兩個子計畫：(A)子計畫一，飛行適能狀態評估與示警。由學界負責航空生理指標與預警機制演算法開發；(B)子計畫二，特殊裝備場域系統整合與驗證。由中科院負責航空感測裝置、航空生理預警演算法與分析平台之系統整合，以及特殊設備模擬飛行的科目規劃與場域驗證。據此，規劃四項研究議題與計畫架構(圖9)：

議題一，飛行生理指標評估建立與安全模式。
議題二，特殊裝備場域先進資料擷取與傳輸。
議題三，飛行適能狀態評估與預警機制。
議題四，特殊裝備場域飛行適能評估系統。</td></tr>
</table>

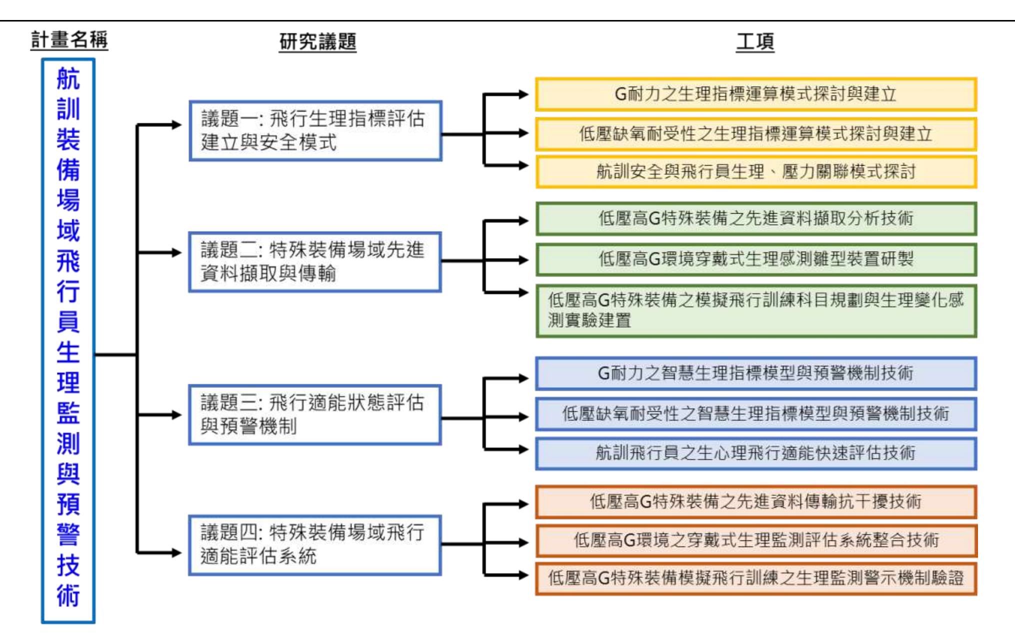


圖 9 計畫架構圖

依上述計畫架構，依序開展出第一、二年研究議題與工項如下：

第一年 (112年)

議題一、飛行生理指標評估建立與安全模式：執行單位：學研單位
(1)G耐力之生理指標運算模式探討與建立。
(2)低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式探討與建立。
(3)航訓安全與飛行員生理、壓力關聯模式探討。

議題二、特殊裝備場域先進資料擷取與傳輸：執行單位：中科院
(1)低壓高G特殊裝備之先進資料擷取分析技術。
(2)低壓高G環境穿戴式生理感測雛型裝置研製。
(3)低壓高G特殊裝備之模擬飛行訓練科目規劃與生理變化感測實驗建置。

第二年 (113年)

議題三、飛行適能狀態評估與預警機制：執行單位：學研單位
(1)G耐力之智慧生理指標模型與預警機制技術。
(2)低壓缺氧耐受性之智慧生理指標模型與預警機制技術。
(3)航訓飛行員之生心理飛行適能快速評估技術。

議題四、特殊裝備場域飛行適能評估系統：執行單位：中科院
(1)低壓高G特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術。
(2)低壓高G環境之穿戴式生理監測評估系統整合技術。
(3)低壓高G特殊裝備模擬飛行訓練之生理監測警示機制驗證。

二、成果產出及需求規格

本計畫「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」，係配合國軍高雄醫院岡山分院航空生理訓練中心現有之訓練模式規範與設備現況，進行產出品項

及規格之制定依據。依照現有航訓中心低壓艙訓練環境模式，一般而言，需模擬超過約12,500英呎的高空條件(約海拔3,810公尺)下，受訓學員較有可能發生生理狀況變化，且該低壓艙最大模擬高度為35,000英呎，故本計畫將大氣壓力之需求範圍制訂為海拔12,500-35,000英呎(約270mmHg-750mmHg)；同時離心機之G力可模擬範圍為1G-9G。

112 年度(計畫第一年)

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	G耐力之生理指標運算模式	軟體	1 套	具備 G 耐力(離心機可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間，增G率：約 0.1G/秒)之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次並繳交技術成果報告。
2	學研單位	低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式	軟體	1 套	具備低壓(低壓艙環境配置至少包含 270mmHg – 750mmHg，約一般地表至 12,500 – 35,000 英呎高空,以下同)缺氧耐受性之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次，並繳交技術成果報告。
3	學研單位	航訓安全與飛行員生理、壓力關聯模式探討研究	軟體	1 份	評估低壓高 G 環境(可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間,低壓艙環境配置至少包含 270mmHg – 750mmHg，約一般地表至 12,500 – 35,000 英呎高空，以下同)下對人體航訓安全影響，並從表 2 適用之生理信號種類中，選取至少 2 種信號，進行至少 2 種生理狀態之關聯性研究，至少 40 人次，並繳交技術成果報告
4	中科院	低壓高 G 特殊裝備之先進資料擷取分析技術報	報告	1 份	可在低壓高 G 環境(同上)下,封閉式環境中進行資料擷取。傳輸驗證至少累積 40 人次資料。

		告			
5	中科院	航空穿戴式生理感測雛型裝置	硬體	1套	可在低壓高 G 環境下(同上)操作，並從表 2 適用之生理信號種類中，選取可具備 2 種異質生理信號之感測模組與高度計等感測器。
6	中科院	低壓高 G 特殊裝備之模擬飛行訓練科目規畫研究報告	報告	1份	以本計畫開發之技術進行規畫至少 2 種航訓中心之模擬飛行訓練科目。

113 年度(計畫第二年)

項次	**產製單位**	**產出品項**	**類別** (報告、硬體、軟體)	**數量**	**需求規格**
1	學研單位	智慧化 G 耐力指標模型	軟體	1套	具備 G 耐力(離心機可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間，增 G 率：約 0.1G/秒)之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次,並繳交技術成果報告。
2	學研單位	智慧化低壓缺氧耐受性指標模型	軟體	1套	具備低壓(低壓艙環境配置至少包含 270mmHg – 750mmHg，約一般地表至 12,500 - 35,000 英呎高空)缺氧耐受性之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次,並繳交技術成果報告。
3	學研單位	飛行適能快速評估平台	硬體	1份	可於 5 分鐘內評估一次，包含：智慧化 G 耐力指標、低壓缺氧耐受性指標，測試至少 10 人次，並繳交技術成果報告及軟體。
4	中科院	低壓高 G 特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術報告	報告	1份	可在低壓高 G 環境下(可模擬範圍 1G-9G 中，低壓艙環境配置至少包含 270mmHg – 750mmHg,約一般地表至

					12,500 - 35,000 英呎高空，以下同)，封閉式環境中進行資料擷取。傳輸驗證累積至少 10 人次。
5	中科院	低壓高 G 環境之穿戴式生理監測評估系統	硬體	1 套	可在低壓高 G 環境下(同上)，系統整合功能測試，驗證累積至少 10 人次，並繳交技術成果報告及軟體。
6	中科院	低壓高 G 特殊裝備模擬飛行訓練之生理監測警示機制驗證	報告	1 份	可在低壓高 G 環境下(同上)，生理監測警示機制驗證累積至少 10 人次。

三、驗測方式規劃

112 年度

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	驗測方式規劃
1	學研單位	G 耐力之生理指標運算模式	軟體	• G 耐力環境下(離心機可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間，增 G 率：約 0.1G/秒)，收集完整生理數據。 • G 耐力之生理指標運算模式具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 註：P 值為進行研究統計時之顯著性水準參考，用以判斷其統計上之顯著性，P 值越大，代表一致性越高。(以下所提到之 P 值亦同) • 測試至少 40 人次。
2	學研單位	低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式	軟體	• 低壓環境下(低壓艙環境配置至少包含 270mmHg - 750mmHg，或一般地表至 12,500-35,000 英呎高空)，收集完整生理數據。 • 低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 • 測試至少 40 人次。

3	中科院	航空穿戴式生理感測雛型裝置	硬體	‧在低壓高G環境下(同上)收集完整數據。 ‧至少每5秒一筆數據。 ‧收集2種生理信號。(從表2適用之生理信號種類中選取) ‧儲存數據，可提供計算G耐力之生理指標與低壓缺氧耐受性之生理指標。

113年度

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	驗測方式規劃
1	學研單位	智慧化G耐力指標模型	軟體	‧G耐力環境下(同上),收集完整生理數據。 ‧智慧化G耐力指標模型具備一致性(如:P 值不得小於0.05)。 ‧測試至少40人次。 ‧預警機制紀錄。
2	學研單位	智慧化低壓缺氧耐受性指標模型	軟體	‧低壓環境下(同上)，收集完整生理數據。 ‧智慧化低壓缺氧耐受性指標模型具備一致性(如:P值不得小於0.05)。 ‧測試至少40人次。 ‧預警機制紀錄。
3	學研單位	飛行適能快速評估平台	硬體	‧在低壓高G環境下(同上)於訓練科目下收集、載入完整數據。 ‧於5分鐘內快速評估一次。 ‧包含：智慧化G耐力指標、低壓缺氧耐受性指標， ‧測試至少10人次。
4	中科院	低壓高G環境之穿戴式生理監測評估系統	硬體	‧在低壓高G環境下(同上)，收集完整數據。 ‧完整數據傳輸後端平台。 ‧驗證累積至少10人次。 ‧提供計算智慧化G耐力指標模型與智慧化低壓缺氧耐受性指標模型。 ‧評估數值顯示。

<table>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>
本計畫發展「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」平台，透過飛行員專屬穿戴式生理訊號感測技術，進行低壓高G、缺氧耐受性等演算法建立，並搭配場域無線資訊傳輸機制佈建，進行場域驗證。

可運用於
(A)模擬訓練場域 (空軍岡山航空生理訓練中心)
➢ 使用舒適性的穿戴感測裝置，具有偵測心跳、血氧濃度等生理參數功能，透過運算，即時顯示人員生理狀態。
➢ 探討生理參數與G耐力、缺氧耐受性之相關性，進而建立生理指標運算模式。
➢ 建立即時生理監控預警機制，瞭解G力昏迷或缺氧昏迷之前期變化，及建立預警G力(缺氧)昏迷模式，以維訓練安全。

(B)高空戰訓場域 (未來)
➢ 提供飛行員每日G耐力及缺氧耐受性變化之參考，
➢ 作為飛行前任務提示時，協助評估飛行員當下生理狀況，進而建立人員及單位警覺機制，以維飛航安全。
(A) 低壓艙 離心機
(B)
</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>現有 TRL 3 等級，結案後之 TRL 4 等級。(檢附 TRL 評估表如後說明)</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>
一、議題分工及期程規劃
在分工方面，學界負責：低壓高G環境下，航空適能生理指標運算模式、智慧型演算法模型與安全警示機制之建立；中科院負責：低壓高G穿戴式生理感測雛型裝置開發、先進資料傳輸與抗干擾技術建立、系統整合與場域驗證等。

112 年度(計畫第一年)
<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行單位</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

			議題一 飛行生理指標評估建立與安全模式	(1)G耐力之生理指標運算模式探討與建立	學研單位	112	1. 在高G訓練環境中,其生理監測參數與一般訓練條件下之差異性結果比較。 2. 針對高G耐力條件下(離心機測試至少包含1G~7G間,增G率:約0.1G/秒),其生理參數與人體生理反應之關聯性探討。 3. 建立G耐力條件與生理指標運算模式。 4. 開發G耐力之生理指標演算法。	
				(2)低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式探討與建立	學研單位	112	1. 在低壓缺氧訓練環境中,其生理監測參數與一般訓練條件下之差異性結果比較。 2. 針對低壓(低壓艙環境配置至少包含270mmHg -750mmHg,或一般地表至12,500-35,000英呎高空)缺氧條件下,其生理參數與人體生理反應之關聯性探討。 3. 建立低壓缺氧條件與生理指標運算模式。 4. 開發低壓缺氧耐受性之生理指標雛型演算法。	
				(3)航訓安全與飛行員生理、壓力關聯模式探討	學研單位	112	1. 航訓安全與飛行員生理關聯研究,包含高G昏迷與減壓/低壓損傷等項目。 2. 飛行員生理、壓力關聯研究。	
			議題二 特殊裝備場域先進資料擷取與傳輸	(1)低壓高G特殊裝備之先進資料擷取分析技術	中科院	112	1. 資料儲存分析平台建置,於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中,進行資料擷取測試。	
				(2)低壓高G環境穿戴式生理感測雛型裝置研製	中科院	112	1. 設計符合可在低壓高G環境環境下使用之穿戴式生理感測雛型。 2. 進行雛型裝置試製與測試。	

	(3)低壓高G特殊裝備之模擬飛行訓練科目規畫與生理變化感測實驗建置	中科院	112	1. 規劃至少2種航訓生理中心之模擬飛行訓練科目。 2. 低壓高G(同上)特殊裝備之生理變化感測實驗建置規劃。
議題三 飛行適能狀態評估與預警機制	(1)G耐力之智慧生理指標模型與預警機制技術	學研單位	113	1. 智慧型G耐力指標演算法模型建立 2. G耐力指標預警機制建立與測試
	(2) 低壓缺氧耐受性之智慧生理指標模型與預警機制技術	學研單位	113	1. 智慧型低壓缺氧耐受度指標演算法模型建立 2. 低壓缺氧耐受度指標預警機制建立與測試
	(3) 航訓飛行員之生心理飛行適能快速評估技術	學研單位	113	1. 航訓飛行員之生心理飛行適能快速評估測試
議題四 特殊裝備場域飛行適能評估系統	(1)低壓高G特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術	中科院	113	1. 於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中，以抗干擾方式進行資料傳輸與擷取測試
	(2)低壓高G環境之穿戴式生理監測評估系統整合技術	中科院	113	系統整合功能測試
	(3)低壓高G特殊裝備模擬飛行訓練之生理監測警示機制驗證	中科院	113	警示機制驗證測試

二、議題分年經費分配表

112 年(計畫第一年)

金額單位：仟元

研究議題 ＼ 承接單位	中科院	學研單位	小計
飛行生理指標評估建立與安全模式			
特殊裝備場域先進資料擷取與傳輸			
總計			

113 年(計畫第二年)

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
飛行適能狀態評估與預警機制			
特殊裝備場域飛行適能評估系統			
總計			

七　成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

補助項目 \ 執行年次	第一年（112年）		第二年（113年）		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費(a+b+c)					
a. 研究人力費					
b. 材料、耗材及雜項費用					
c. 差旅費					
研究設備費					
管理費					
合計					

二、重大研究設備說明

無編列設備費用

八　預期成果

本計畫係針對我國空軍戰士，研發出適用於航訓模擬環境之穿戴式生理訊號感測裝置與G耐力、缺氧耐受性量化指標技術，以及維護飛行員訓練與飛航安全之飛行適能快速評估與警示機制。希冀藉由評估飛行員之體能與壓力指標，警示提醒飛行員訓練狀態，並提供給地面控制中心研判飛行員之飛行適能狀況，以維護訓練與飛航安全。未來預期效益為：

(A)模擬訓練場域 (空軍岡山航空生理訓練中心)

- 訓練學員可使用舒適性的穿戴感測裝置，透過本計畫產出的平台系統，主訓教官於模擬設備外部，可即時瞭解學員之各種生理參數(心跳、血氧濃度)，以及生理狀態量化的指標。
- **藉由量化的G耐力、缺氧耐受性指標，及其即時監控預警機制，主訓教官可瞭解G力昏迷或缺氧昏迷之前期變化，並提早預警G力(缺氧)昏迷，以維訓練安全。**

		(B)高空戰訓場域 (未來) ➢ 透過本計畫產出的平台系統，可提供飛行員每日G耐力及缺氧耐受性變化之參考，可避免飛行員的疲勞、壓力所導致的相關意外。 ➢ 作為飛行前任務提示時，協助評估飛行員當下生理狀況，進而建立人員及單位警覺機制，能迅速調整以提昇全體作戰能力與質量，以維飛航安全。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有TRL等級	TRL評定理由	目標TRL等級	風險評估說明
1	航空生理監測警示技術	TRL3	1. 針對軍事空中場域及機艙環境的飛行員相關生理研究，因數據取得困難，少有學者研究驗證，亦有待建立完整之地面模擬飛行低壓低氧高G環境的生理資料庫。 2. 目前我國空軍航空生理訓練中心雖有低壓艙與離心機等模擬環境，但針對航空生理監測警示之技術研究仍較缺少，且未充分驗證。 3. 本計畫將配合航訓中心現有低壓艙與離心機等模擬實驗環境，運用飛行員之航空生理信號，透過人工智慧技術，得出相關生理及壓力參數演算法，並發展可於適用飛行場域之生理與壓力監測評估技術，並發展生理警示機制之技術。	TRL4	1. 需依不同使用情境(模擬高空飛行低壓低氧高G環境)，分別實施案例數據蒐集、分析，研發飛行員之航空生理與壓力參數監測初始模型。 2. 需於特定飛行模擬實驗環境下，進行航空生理壓力動態偵測、實驗分析，以確認可行性。 3. 生理警示機制技術，需要蒐集大量資料，以驗證模型準確性。
2	低壓高G環境穿戴式生理感測裝置	TRL3	針對航訓裝備場域環境下，開方符合極端環境下之硬體，藉特定生理訊號感測裝置及偵測組件架構、基礎原理與技術，並進行相關生理數據蒐集、分析與關鍵功能開發。	TRL4	需提升硬體設備(特定航空生理感測裝置、資料傳輸抗干擾等技術)規格以符合特定場域(模擬高空飛行低壓低氧高G環境)與環境（如環境溫度、防水等規範)。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：ADN單基液體火箭推進模組開發	計畫期程：112-114年
全期經費額度：　　　　仟元	研究領域：航太工程
提案單位：飛彈火箭研究所液體推進組　　聯絡人：黃柏霖　　電話：352249	

項次	項目	研究內容
二	計畫目的	本計畫主要研發ADN單基火箭推進技術以及推進劑控制閥技術，計畫目的如下: 1. 開發真空比衝值220秒以上之1牛頓級ADN推進器 2. 開發真空比衝值220秒以上之20牛頓級ADN推進器 3. 開發內部洩漏率小於10 scc/hr (@15 bar He)、重量<900g的自鎖閥 4. 開發反應時間<20毫秒(ms)、功耗<30W、重量<300g的電磁閥 5. 建立500g/月以上之ADN粉末產能
三	研究議題	一、計畫架構 研發項目主要分為議題一ADN單基火箭推進技術以及議題二推進劑控制閥技術，各議題間之關係如架構圖所示: 本案規劃由本院與校方合作進行ADN單基火箭推進模組之推進器與控制閥件等關鍵組件開發，其中推進器的部分包含1牛頓

與 20 牛頓兩種推力等級，由本院提供 ADN 固體粉末給校方調配成液體推進劑，學校進行反應器觸媒床開發、推進器研製、並執行地面性能測試與真空性能測試。控制閥件則包含自鎖閥及電磁閥，規劃由於學校進行基礎研究，包含閥件內部磁場特性研究、內部流道機構研究、以及材質相容性測試等，並由學校進行雛型件的製作與測試。本院則是搭配學校的研析結果，進行自鎖閥及電磁閥工程體的設計與製作，於完成相關研發工作後，本案規劃將控制閥件與推進器整合，進行模組性能測試。

依據上述之規劃，本案分年研究議題如下：

第一年(112 年):

議題一: ADN 單基火箭推進技術

(1) 進行 ADN 配方與觸媒型式精進與選定
(2) 進行反應器觸媒床開發與特性測試
(3) 完成推進器試驗設備整備
(4) 完成 1 牛頓級推進器設計
(5) 進行實驗室級 ADN 合成(100g/月)
(6) 進行 ADN 擴量製程規劃與產線設計

議題二:推進劑控制閥技術

(1) 進行電磁閥設計參數分析
(2) 進行自鎖閥設計參數分析
(3) 進行材料相容性測試
(4) 進行電磁閥磁場與流場數值模擬分析
(5) 進行電磁閥雛型件設計與製作

第二年(113 年)：

議題一:ADN 單基火箭推進技術

(1) 完成 1 牛頓級推進器製作
(2) 進行 1 牛頓級推進器地面性能測試
(3) 進行 1 牛頓級推進器精進設計與真空性能測試件製作
(4) 進行 20 牛頓級推進器設計
(5) 進行推進器真空性能測試整備
(6) 進行實驗室級 ADN 合成(100g/月)
(7) 完成 ADN 擴量製程產線籌建與試車

議題二:推進劑控制閥技術

(1) 進行自鎖閥磁場與流場數值模擬分析
(2) 完成自鎖閥雛型件設計與製作
(3) 完成控制電路設計與製作
(4) 進行閥件性能測試整備

(5) 進行電磁閥雛型件性能測試

(6) 進行電磁閥工程體設計與製程規劃

第三年(114 年)：

議題一:ADN 單基火箭推進技術

(1) 完成 20 牛頓級推進器製作

(2) 進行 20 牛頓級推進器地面性能測試

(3) 進行 1 牛頓級與 20 牛頓級推進器真空性能測試

(4) 進行推進器與控制閥整合測試

(5) 進行 ADN 擴量製程生產(500g/月)

議題二:推進劑控制閥技術

(1) 進行自鎖閥雛型件測試

(2) 進行控制閥件精進研改與測試

(3) 進行閥件間電磁干擾特性研究

(4) 進行電磁閥工程體製作

(5) 進行自鎖閥工程體設計與製程規劃

(6) 進行自鎖閥工程體製作

(7) 進行控制閥工程體性能測試

二、成果產出及需求規格

本案產品研發需求規格主要參考現有市售商用產品之規格為依據訂定，產出品項之規格定義如下表：

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	ADN 推進器	硬體	2 具	1. 真空推力大於 1 牛頓之推進器 1 具。 2. 真空推力大於 20 牛頓之推進器 1 具。 3. 真空比衝值≥220 秒
2	學研單位	電磁閥 雛型件	硬體	1 件	反應時間<20 毫秒 (ms)
3	學研單位	自鎖閥	硬體	1 件	內部洩漏率<15 scc/hr (@15 bar He)

		雛型件			
4	中科院	電磁閥 工程體	硬體	1 件	1. 反應時間<20 毫秒(ms) 2. 功耗<30W 3. 重量<300g
5	中科院	自鎖閥 工程體	硬體	1 件	1. 內部洩漏率<10 scc/hr (@15 bar He) 2. 重量<900g
6	中科院	ADN 產能 提升報告	報告	1 份	產量≥500g/月

三、驗測方式規劃

ADN 推進器：以地面測試量測結果，換算出太空環境下操作之真空推力與真空比衝值。

1. 電磁閥雛型件：使用替代性工作流體於地面環境操作，進行規格參數驗證
2. 自鎖閥雛型件：以持壓法進行檢測，換算洩漏率。
3. 電磁閥工程體：使用替代性工作流體於地面環境操作，進行規格參數驗證
4. 自鎖閥工程體：以氦漏設備進行檢測
5. ADN 產製能量: 以研製單位實際生產重量驗證

四	運用構想	本計畫為推進技術相關研究計畫，規畫透過學術界之單基液體火箭與控制閥件的相關研究經驗，進行 ADN 單基液體火箭推進模組研究，以提升國內單基液體火箭的技術能量；本案所獲得之研發成果於未來可提供本院發展相關推進模組參考。
五	技術備便水準評估	1. 在單基單基火箭推進技術的方面，目前僅具備聯胺、過氧化氫等單基火箭之研發能量，尚無以 ADN 為推進劑之單基火箭推進技術之研究經驗，目前僅透過文獻資料瞭解其基本原理，據此研判 TRL=2。 2. 在控制閥件的方面，國內學術界僅針對過氧化氫的電磁閥進行過初步研發，尚無適用於 ADN 推進劑電磁閥的研製經驗。自鎖閥則是僅針對公開資料進行過初步了解，因此評定控制閥件相關技術的 TRL 為 2。 3. 全案(三年)執行結束後，最終可完成 ADN 單基火箭之地面性能測試，以及自鎖閥、電磁閥的開發及性能驗證，並進行推進器與控制閥的整合測試，對技術單元進行實體性確認，故技術備便水準可提升至 TRL=4。

六	期程工項	

一、議題分工及期程規劃

在分工方面，中科院主要負責 ADN 擴量製程產能提升、電磁閥與自鎖閥工程體製作驗證，學界則是協助 1 牛頓級與 20 牛頓級 ADN 推進器開發驗證、電磁閥與自鎖閥雛型件設計驗證。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一	ADN擴量製程產能提升	中科院	112-114	ADN擴量製程規劃、產線設計、產線籌建與試車以及擴量生產
	ADN推進器開發驗證	學研單位	112-114	ADN配方與觸媒型式精進與選定、1牛頓級與20牛頓級推進器設計製作與性能測試
議題二	電磁閥與自鎖閥雛型件設計驗證	學研單位	112-114	電磁閥與自鎖閥設計分析、製作與功能測試
	電磁閥與自鎖閥工程體製作驗證	中科院	113-114	電磁閥與自鎖閥工程體設計、製程規劃、製作與性能測試

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
議題一(112 年):ADN 單基火箭推進技術-第(1)~(4)項			
議題一(112 年):ADN 單基火箭推進技術-第(5)、(6)項			
議題二(112 年):推進劑控制閥技術			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計

	中科院	學研單位	小計
議題一(113 年):ADN 單基火箭推進技術-第(1)~ (5)項			
議題一(113 年):ADN 單基火箭推進技術-第(6)、(7)項			
議題二(113 年):推進劑控制閥技術-第(1)~(5)項			
議題二(113 年):推進劑控制閥技術-第(6)項			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
議題一(114 年):ADN 單基火箭推進技術-第(1)~(4)項			
議題二(114 年): ADN 單基火箭推進技術-第(5)項			
議題二(114 年): 推進劑控制閥技術-第(1)~(3)項			
議題二(114 年): 推進劑控制閥技術-第(4)~(7)項			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 / 補助項目	第一年（112年）		第二年（113年）		第三年（114年）		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費（a+b+c）							
a. 研究人力費							
b. 材料、耗材及雜項費用							

c.差旅費							
研究設備費							
管理費							
合計							

二、重要研究設備說明

金額單位：仟元

設備名稱 (中文/英文)	說明	數量	單價	金額	建置場域	結案後設備規劃
ADN擴量製程設備	ADN擴量製程產能提升使用	1			化學所青山院區	結案後設備歸屬中科院

八 預期成果

第一年預期成果：

(1) 完成於ADN液體推進劑精進與選定，並交付配方與製程資料
(2) 交付1牛頓級推進器設計報告，內容包含觸媒床型式與製程
(3) 年度內產製500g以上之ADN粉末
(4) 交付電磁閥離型件設計報告，內容包含材料選用、模擬分析結果與內部結構設計藍圖

第二年預期成果：

(1) 完成於1牛頓級推進器製作，並交付地面性能測試報告
(2) 交付20牛頓級推進器設計報告
(3) 完成擴量製程試車，年度內產製1,000g以上之ADN粉末
(4) 交付電磁閥離型件性能測試報告
(5) 交付自鎖閥離型件設計報告，內容包含模擬分析結果與內部結構設計藍圖

第三年預期成果：

(1) 完成於20牛頓級推進器製作，並交付地面性能測試報告
(2) 交付推進器真空性能測試報告
(3) 交付推進器與控制閥整合測試報告
(4) 年度內產製3,000g以上之ADN粉末
(5) 交付自鎖閥離型件性能測試報告
(6) 交付閥件電磁干擾特性研究報告與精進研究報告

		(7) 完成一組電磁閥工程體製作 (8) 完成一組自鎖閥工程體製作

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	ADN 單基火箭推進技術	2	目前國內學術單位已具備有關過氧化氫之單基火箭推進研究能量，並已有累積火箭硬體設計、製作、測試等相關經驗，但尚無有關 ADN 之單基火箭推進技術之研究能量，目前僅透過文獻資料進行初步的研究，尚無實務設計經驗，故給定 TRL=2。未來針對 ADN 液體推進劑進行配方研製與觸媒性能反應測試後，配合過往累積火箭研發經驗可滿足實驗室環境下所研製之低逼真度技術性組件整合需求，等級提升為 TRL=4。	4	ADN 液體推進劑係由 ADN 粉末、水、以及有機溶劑等多種成分混合而成的配方，所含之成分不同，對性能會有相當的影響。國外文獻資料鮮少公布完整的配方，故需透過本案自行研究開發。由於推進劑的不確定性，可能會導致單基火箭推進性能低於預期標準，需額外進行研改，導致計畫延宕。
2	推進劑控制閥技術	2	國內學術界僅針對過氧化氫的電磁閥進行過初步研發，尚無適用於 ADN 推進劑電磁閥的研製經驗。自鎖閥則是僅針對公開資料進行過初步了解，因此評定控制閥件相關技術為 TRL=2。未來針對材料相容性、密封設計以及磁路優化後，根據過往所累積經驗滿足實驗室等級之技術性組件整合開發，等級提升為 TRL=4。	4	本案開發之閥件，在重量、功耗、反應時間、洩漏率等規格的門檻較高，故開發之閥件可能無法同時滿足所有規格，影響推進模組的整體性能。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱：精確入軌用混合火箭關鍵技術研發			計畫期程：112-115年
全期經費額度：			研究領域：航太
提案單位：飛彈所固體推進組　聯絡人：佘怡璇　電話：03-47122201#352041			
項次	項目	研究內容	
二	計畫目的	本計畫擬以四年時間，開發對於高空用的混合火箭系統所需的關鍵技術:包含了高空用混合火箭技術、姿態控制用的過氧化氫單基推進器技術，及氧化劑(高濃度過氧化氫)的供應模組。其中: 1. 混合火箭性能預期須具備百公斤以上大推力及 50 秒以上的長燃時，並能進行一定程度的推力調節及熄火再燃之能力。 2. 姿態控制的過氧化氫單基推進須具備多具、多角度配置以及快速開關反應的推力器。 氧化劑供應模組須具備大流量、長時間使用等條件，更要考量氧化劑與供應模組的相容性、輕量化結構安全性，亦需面對氧化劑本身物理化學性質於無重力狀態以及推進加速階段可能的流體狀態變化、操作時對流量之監控與調控、以及包括罐裝/洩放或洩壓排放等各項必要或安全考量與影響。此外，供應模組所需之各型控制閥，必須具備能在太空使用等級。	
三	研究議題	一、計畫架構 研發項目分為議題一混合火箭系統需求分析與系統設計、議題二混合火箭發動機研發、議題三單基推進器研發、議題四推進劑開發與產製、議題五氧化劑供應模組研發、議題六混合火箭地面測試模組研發等，各議題間之關係如計畫架構圖所示。 本案規劃於全案進行之初先對任務場景進行系統需求分析與系統設計，而後再根據系統設計結果，訂定系統下階各模組規格。各模組在取得規格後分別執行設計、製作與測試，最後將各模組組合後完成系統聯測。	

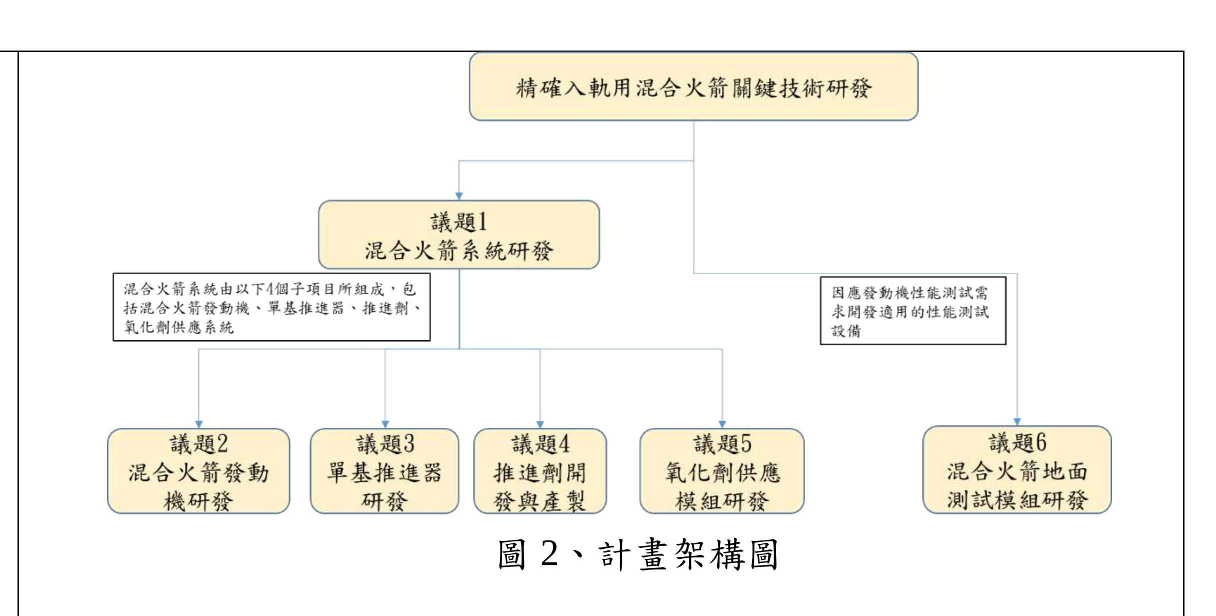


圖 2、計畫架構圖

二、成果產出及需求規格

本案重要性能諸元如下表，性能規格依據入軌載具運用需求訂定。

性能表項目	需求規格
(1)混合火箭發動機推力	≧200kgf
(2)混合火箭發動機作用時間	≧50s
(3)混合火箭發動機海平面比衝	≧220s
(4)混合火箭發動機推力調節功能	60%~100%額定推力
(5)混合火箭發動機熄火再燃功能	可點火啟動次數≧2
(6)單基推進器推力	≧1kgf
(7)單基推進器海平面比衝	≧100s

項次	**產製單位**	**產出品項**	**類別** (報告、硬體、軟體)	**數量**	**需求規格**
1	中科院	混合火箭系統設計報告	報告	1 件	性能表項目(4)、(5)
2	中科院	混合火箭設計與性能測試報告	報告	1 件	性能表項目(1)、(2)、(3)

3	中科院	氧化劑供應模組設計與系統功能測試報告	報告	1件	需可滿足性能表項目(4)、(5)對應之供流需求。
4	學研單位	單基推進器設計與性能測試報告	報告	1件	性能表項目(6)、(7)
5	學研單位	表面張力式氧化劑儲槽設計與功能測試報告	報告	1件	擠出率達90%，且滿足計畫之總容量。
6	學研單位	混合火箭系統零組件設計(噴注器、觸媒)與特性測試報告	報告	1件	性能表項目(1)、(2)、(3)

三、驗測方式規劃

(1)混合火箭系統驗測方式：

以混合火箭發動機與單基推進器組合進行系統聯測，以共用氧化劑供應系統的方式，在海平面環境下進行地面靜試，混合火箭發動機與單基推進器皆須符合各自性能規格。

(2)混合火箭發動機性能驗測方式：

在海平面環境下進行地面靜試以驗收其推力、作用時間、海平面比衝等規格。

(3)混合火箭發動機推力調節功能驗測方式：

在海平面環境下進行地面靜試，試驗過程中需多次改變發動機推力，改變推力的時間點與次數須依照試驗規劃指定。

(4)混合火箭發動機熄火再燃功能驗測方式：

在海平面環境下進行地面靜試，試驗過程中需進行發動機點火與熄火動作，熄火與點火的時間點與次數須依照試驗規劃指定。

(5)單基推進器在海平面環境下進行地面靜試以驗收其推力、海平面比衝等規格。

(6)氧化劑供應模組驗測方式：

確認氧化劑供應模組項下各零組件具備與過氧化氫之相容性能後，串接組立為供流總成，並以水為工作流體進行以冷流測試，下達供流命令檢視工作流體是否滿足額定流量，可為後續性能調校用。

(7)混合火箭系統零組件設計(噴注器、觸媒) 驗測方式：

零組件需可配合氧化劑供應系統組裝，並配合氧化劑在海平面環境下進行觸媒對氧化劑的分解能力試驗，噴注器出口溫度須大於 700

		℃。 (8)表面張力式氧化劑儲槽驗測方式： 氧化劑儲槽首先具備材料相容性，後續亦以水為替代工作流體，在地表以不特定方向抽取(或擠壓)，檢試工作流體之排出率，可據此試驗結果評估將來實際填充需具備之裕度。
四	運用構想	其運用場景為使火箭在入軌時具備精確能量控制與方位調整之能力，令酬載依規劃之軌道運行，延長服役壽命，提升此發射任務之效益。
五	技術備便水準評估	TRL 評估表如附件
六	期程工項	一、議題分工及期程規劃 在分工方面，中科院主要負責發動機系統架構設計、混合火箭主發動機設計製作，學界則是協助混合火箭部分零組件的開發製作、氧化劑供應模組中可用於無重力下氧化劑儲槽(Surface tension PMD tank) 與姿控推進器的設計製作。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
混合火箭系統研發	混合火箭系統需求分析與系統架構設計	中科院	112	進行系統設計與系統參數分析
	系統整合測試	中科院	115	完成全案多個模組開發後，執行系統聯測。
	混合火箭系統研發驗證總結報告	中科院	115	完成全案研究報告
混合火箭發動機研	混合火箭發動機設計、	中科院	112-114	進行混合火箭發動機設計、製造與籌獲、混合

			發	製作、發動機功能測試			火箭零組件的功能測試	
				混合火箭零組件設計、製作、零組件特性測試	學研單位	112-114	進行混合火箭零組件(觸媒室、噴注器)設計、製造與籌獲、執行冷流/熱流實驗掌握零組件的特性參數。	
				混合火箭熄火再燃與推力調節功能驗證	中科院	115	執行試驗，分別確認混合火箭是否具備熄火再燃與推力調節的功能	
				混合火箭性能測試與操作參數調整	中科院	115	執行多組混合火箭性能試驗以掌握相關設計參數與發動機性能資料。	
				混合火箭零組件驗證總結報告	學研單位	115	完成混合火箭零組件(觸媒室、噴注器)的設計、製作、零組件特性的總結報告	
			單基推進器研發	單基推進器設計、製作與性能測試	學研單位	112-114	進行單基推進器設計、製造與籌獲、單基推進器的功能測試	
				單基推進器性能驗總結報告	學研單位	115	完成單基推進器的設計、製作、性能特性的總結報告	
			推進劑開發與產製	推進劑開發試製	中科院	112	開發適用於混合火箭的推進劑(氧化劑與燃料)與儲藏方式，並完成推進劑性能分析。	
				推進劑原料籌獲與推進劑製備	中科院	113-115	籌獲製作推進劑所需原料，並負責供應全案執行試驗所需的推進劑。	
			氧化劑供應模組研發	氧化劑供應系統設計、製作與功能測試	中科院	112-114	進行氧化劑供應模組零件(氧化劑儲槽、加壓模組、流量調節元件與流體管路元件)設計、製造與籌獲、零件功能測試	
				表面張力式氧化劑儲槽	學研單位	112-114	進行氧化劑供應模組零件(表面張力式氧化劑	

	設計、製作、特性與功能測試			儲槽)設計、製造與籌獲、功能測試
	混合火箭發動機與氧化劑供應模組功能聯測	中科院	114	結合混合火箭發動機與氧化供應模組執行冷流功能測試
	表面張力式氧化劑儲槽驗證總結報告	學研單位	115	完成表面張力式氧化劑儲槽的設計、製作、性能特性的總結報告
混合火箭地面測試模組研發	混合火箭地面測試模組設計、製作與功能測試	中科院	112-113	進行混合火箭地面測試模組設計、製造籌獲、功能測試

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
混合火箭系統研發			
混合火箭發動機研發			
單基推進器研發			
推進劑開發與產製			
氧化劑供應模組研發			
混合火箭地面測試模組研發			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
混合火箭發動機研發			
單基推進器研發			
推進劑開發與產製			
氧化劑供應模組研發			

研究議題	中科院	學研單位	小計
混合火箭地面測試模組研發			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
混合火箭發動機研發			
單基推進器研發			
推進劑開發與產製			
氧化劑供應模組研發			
總計			

115 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
混合火箭系統研發			
混合火箭發動機研發			
單基推進器研發			
氧化劑供應模組研發			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 補助項目	第一年（112年）		第二年（113年）		第三年（114年）		第四年（115年）		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費（a+b+c）									
a. 研究人力費									
b. 材料、耗材及雜項費用									
c. 差旅費									
研究設備費									
管理費									
合計									

二、重大研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明	數量	單價	金額	建置場域	結案後 設備規劃
無						

八	預期成果	預計本案將完成百公斤推力等級的精確入軌用混合火箭系統所需的關鍵技術開發，本系統將使用高濃度過氧化氫同時作為混合火箭的氧化劑及姿態控制單基推進器之推進劑，並使混合火箭具備推力調節與熄火再燃的功能，而單基推進器具有快速開關的功能。 其次，本案將同步開發氧化劑供應模組，能具備大流量、長時間使用、並符合太空等級的應用條件，以滿足前述混合火箭系統及單基推進器的操作需求。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	混合火箭系統關鍵組件設計開發	2	中科院已有開發實驗室小推力混合火箭的初步經驗，初步掌握混合火箭關鍵組件，功能特性，但尚未有較大推力的混合火箭設計相關經驗，仍需對此技術項下的個別部件進行分析研究。	4	已有較小推力等級與燃時較短的混合火箭關鍵組件開發經驗，但推力放大與燃時增長將會提高設計難度與零組件規格需求。
2	混合火箭氧化劑供應模組設計開發	2	中科院目前並無開發配置於載具之混合火箭之氧化劑供應模組的相關經驗，模組需從實驗室環境下進行技術概念開發。	4	已有較小推力等級與用於地面的實驗室混合火箭氧化劑供應模組開發經驗，但適用於零重力環境與彈上載具的系統如何設計開發，還須持續探討。
3	姿控用單基推進器	2	學界已有使用過氧化氫作為單基推進的相關開發經驗，將針對本案規格設計合用的單基推進器。	4	學界已有相關開發經驗，惟仍須透過實體測試，方可掌握推進器性能。
4	表面張力式氧化劑儲槽	2	本技術的開發與其適用任務場景和盛裝的推進劑性質高度相關。本院尚無運用於載具及具特殊化學性流體儲槽之開發經驗。	4	此構型儲槽可令氧化劑於不特定重力方向下仍可維持供應，是發動機重要組件。相關幾何設計、材料開發存在風險，後續如何在擬真環境下測試亦是一大挑戰。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

附件一

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

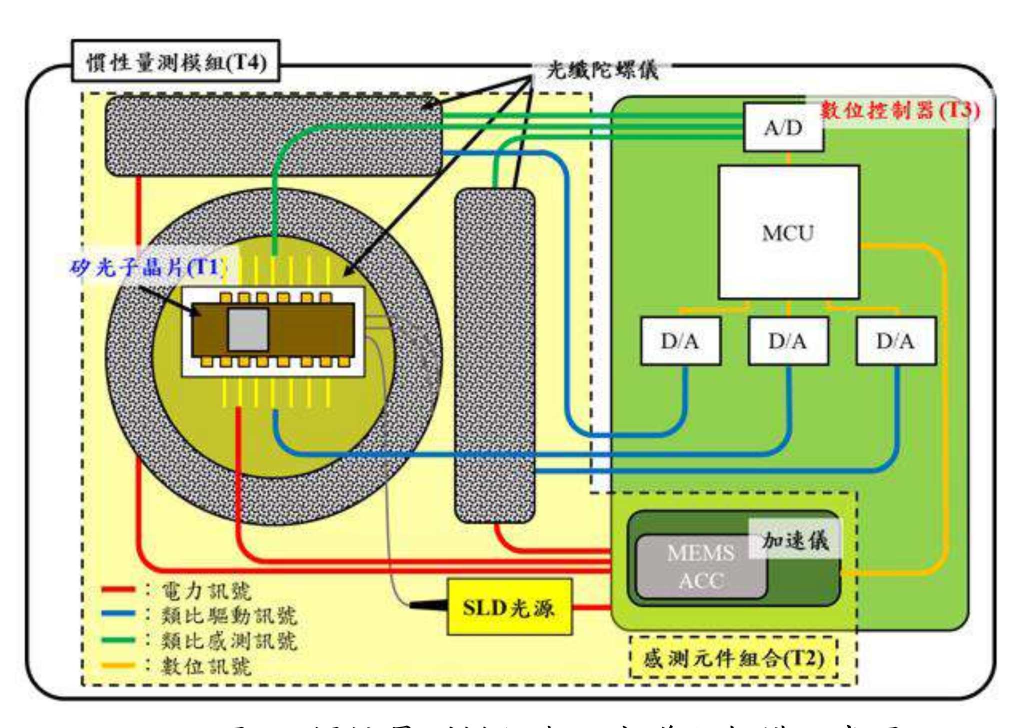
構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:矽光子晶片之光纖陀螺儀慣性量測模組(1/3)</td><td>計畫期程：112-114 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：　　仟元</td><td>研究領域：光電工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：飛彈火箭研究所導航系統組　聯絡人：彭子軒
電話：03-4712201#356430</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">慣性量測單元(Inertial Measurement Unit, IMU)為慣性導航之關鍵儀具，應用於各式船艦、艦艇、飛機、微衛星、飛彈與各式無人載具，作為精準導航與姿態控制之傳感器。本案主要針對戰術級運用之 IMU 進行縮裝型試製，此類 IMU 產品之應用範疇以無人載具、戰術級武器系統、以及低地球軌道微衛星為主，需求指標為體積小、重量輕且陀螺儀與加速儀之性能符合戰術級規格。
IMU 的硬體構成主要由 3 軸加速儀、3 軸陀螺儀，與電子電路單元整合，其中陀螺儀是 IMU 量測姿態角與方位角的關鍵零組件，一般而言，在相同技術的比較下，陀螺儀的尺寸與精度呈現反比，也就是越小的陀螺儀，其偏壓穩定性也會越差，故若要維持戰術級的精度，但持續將陀螺儀進行縮裝是有技術瓶頸的。
本案以國內光纖陀螺儀研製技術為基礎，為解決「陀螺儀的尺寸與精度呈現反比」之技術瓶頸，經研討國外小型戰術級 IMU 現況，以及產學研究現況與趨勢，擬導入矽光子晶片技術，電子元件複用技術…等技術以突破技術瓶頸。本案將研製矽光子晶片之光纖陀螺儀慣性量測模組雛型件，並配合中科院 IMU 量測設備與程序，完成性能驗證。</td></tr>
</table>

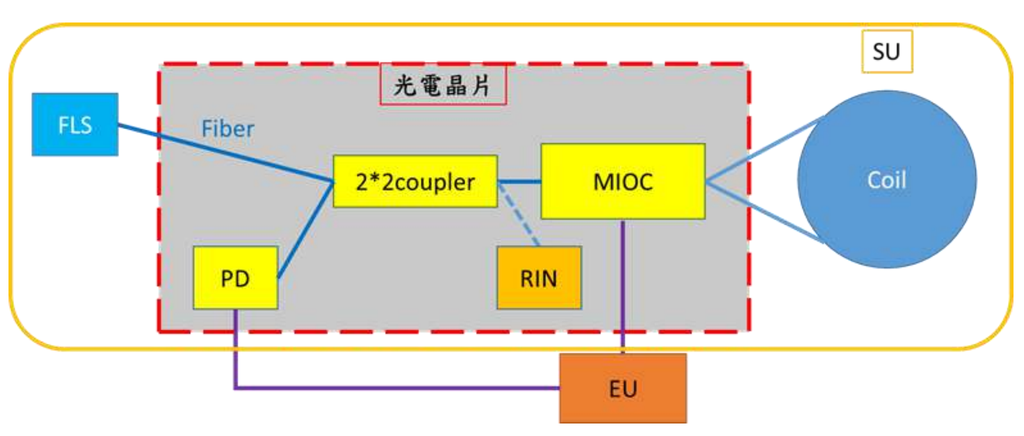
三 研究議題

一、計畫架構

研發項目分為議題一矽光子晶片整合與封裝技術(T1)、議題二感測元件整合與製程精進技術(T2)、議題三光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術(T3)、議題四慣性量測模組整合與設計(T4)等，各議題間之關係如圖一所示。



圖一 慣性量測模組與研究議題架構示意圖



圖二 光纖陀螺儀矽光子晶片示意圖

本計畫目的是規劃在三年的時間內，完成以矽光子晶片為主軸之光纖陀螺儀；同時藉由設計、整合小型化零組件與其周邊光路與電路，完成慣性量測模組硬體設計與製作。而因應體積小、重量輕、低功率消耗的目標，將模擬、分析並優化機械結構，同時開發以微處理器(MCU)作為數位架構核心的演算法，植入特殊設計的電路單元中。

在分工方面，中科院主要負責(1)光纖陀螺儀光纖環繞線製程；(2)微機

電加速儀選用與整合使用；(3)模組介面設計與規格訂定。學界則是協助(1)矽光子晶片設計與製造；(2)以 ASIC 製程設計與製造 TIA 電路；(3)機械結構模擬優化；(4)以單一 MCU 之數位架構開發分時多工之三軸光纖陀螺儀閉迴路控制技術。

規劃研發期程為 3 年(112~114 年)，112 年進行矽光子晶片、TIA 電路與光纖環繞線方式之初步設計，並擬定選定微機電加速儀之廠牌型號，並完成其前置放大電路設計。依 112 年設計，於 113 年完成各關鍵零組件籌獲與製造，並透過元件性能測試與模組散裝聯測，驗證各關鍵諸元水準。114 年則執行光纖陀螺儀慣性量測模組(FOG-IMU, FIMU)整合，並執行權模組功、性能測試等工作。

二、成果產出及需求規格

本案依據下一代空射飛彈用光纖陀螺儀慣性量測模組(FIMU)需求訂定規格，產出 2 項硬體，1 項軟體，9 項技術文件，細目如下：

項次	產製單位	產出品項	類別	數量	需求規格
1	學研單位	矽光子晶片	硬體	3 件	1. Insertion loss (@1530 nm): < 25 dB. 2. Polarization extinction ratio (@1530 nm): > 20 dB. 3. Returned loss (@1530 nm): < -30 dB. 4. Half-wave voltage (@1530 nm): < 8 V. 5. 具 RIN 抑制功能； 6. 平均波長偵測 ＜1 nm； 7. 晶片溫控<1 ^{o}C。 8. 使用直徑小於(含) 80/135 um 之偏振光纖製作晶片光學訊號輸入/出。
2	學研單位	矽光子晶片下線程序與製程確認報告書	報告	1 份	每月紀錄矽光子晶片下線程序與製程的確認狀況，並包含問題解決紀錄，製程或設計的調整紀錄。報告將以目視檢查。
3	學研單位	矽光子晶片測試程序書	報告	1 份	內容需包含矽光子晶片光電性能測試規劃，測試項目須涵蓋項次 1 之規格需求。報告將以目視檢查。

4	學研單位	矽光子晶片的 FOG 開迴路驗證報告	報告	1 份	內容需包含矽光子晶片整合 FOG 之開迴路測試架構，與測試結果，測試項目為 bias instability 與 scale factor，參考 IEEE Std 952 進行測試。報告將以目視檢查。
5	學研單位	前置放大器縮裝與設計技術報告	報告	1 份	內容需包含前置放大器設計說明，與規格分析。報告將以目視檢查。
6	中科院	微機電加速儀介面整合技術報告	報告	1 份	內容需包含微機電加速儀介面整合的設計說明，與規格分析。報告將以目視檢查。
7	中科院	低環境擾動之光纖陀螺儀製造技術報告	報告	1 份	內容需包含光纖陀螺儀的製程說明。報告將以目視檢查。
8	學研單位	三軸光纖陀螺儀多工閉迴路調制演算法	軟體	1 套	1. 設計複用 A/D 或 D/A 轉換器之數位架構。 2. 須具備分時、分波或其他多工演算法則，完成三軸光纖陀螺儀閉迴路控制。
9	學研單位	三軸光纖陀螺儀多工閉迴路調制演算法設計報告	報告	1 份	內容需包含三軸光纖陀螺儀多工閉迴路調制演算法的設計說明與驗證紀錄，驗證方式可採實驗測試或接近實驗設置的數值模擬。報告將以目視檢查。
10	學研單位	慣性量測模組數位控制器設計報告	報告	1 份	內容需包含慣性量測模組數位控制器的設計說明與功能驗證紀錄。報告將以目視檢查。
11	中科院	矽光子晶片之光纖陀螺儀慣性量測模	硬體	1 套	1. 加速儀規格： Bias stability (1σ): < 1 mG 2. 使用矽光子晶片整合光纖陀螺儀主動調制元件與被

		組雛型件			動光學元件。 3. 陀螺儀規格(以 Allan variance 分析，1σ)：Bias instability< 1 °/hr；ARW < 1 °/√hr。
12	中科院	矽光子晶片設計研究與整合應用於小型化光纖陀螺儀之慣性量測模組測試結果報告	報告	1 份	內容需包含慣性量測模組的測試驗證紀錄，測試項目需涵蓋項次 11 之規格需求。報告將以目視檢查。

三、驗測方式規劃

本案共計有 2 項硬體與 1 項軟體，對應成果產出之項次 1、8、11，其驗測方式請參考下表文件：

對應產出項目	驗測方式	文件資訊
項次 1 矽光子晶片	在學校使用積體光學元件的測試設備進行功性能檢測	Fiber Optic Test and Measurement 編者：Dennis Derickson, etc. 出版社：Prentice Hall PTR
項次 8 三軸光纖陀螺儀多工閉迴路調制演算法	在中科院使用精密慣性轉台進行陀螺儀的參數測試	IEEE Standard for specifying and Testing Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros 文件編號：IEEE Std 952
項次 11 矽光子晶片之光纖陀螺儀慣性量測模組雛型件	在中科院使用精密慣性轉台進行加速儀的參數測試	IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Linear Single Axis, Nongyroscopic Accelerometers 文件編號：IEEE Std

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>
<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td>1293</td></tr>
<tr><td>在中科院使用精密慣性轉台進行慣性量測單元的參數測試</td><td>IEEE Standard for Inertial Sensor Terminology
文件編號：IEEE Std 528</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>四</td>
<td>運用構想</td>
<td>1. 未來光纖陀螺儀矽光子晶片完成後，有助於中科院慣性導航儀的研製與生產技術提升，預期可提高國產光纖陀螺儀的產能與良率，並減低成本，該技術亦可運用於中科院各項高精度導航系統等相關計畫，並未來應用於精度更高的慣性導航系統，如：高精度導航系統與定位定向系統。
2. 以 SWaP-C 觀點評估，本案高度整合與縮裝之慣性量測模組有助於提升產品競爭力。完成整合之慣性量測模組，可運用於國內各式無人載具與低地球軌道通訊、光學偵照衛星。</td>
</tr>
<tr>
<td>五</td>
<td>技術備便水準評估</td>
<td>本案共計 4 項關鍵技術，依各項研究議題之成果與相互搭配，技術備便水準的提升規劃如下：
一、研究議題一：矽光子晶片整合與封裝技術現階段為 TRL2，將透過與研究議題二：感測元件整合與製程精進技術中的光纖環連接，以單軸向散裝開迴路測試方式，驗證二關鍵技術達關鍵技術成熟度達 TRL3。
二、完成驗證之矽光子晶片與三軸光纖陀螺儀，以及三軸微機電加速儀，將作為驗證研究議題三：光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術的平台；以散裝測試方式，連接三軸感測元件與數位控制器，確認研究議題三達 TRL3。組裝成慣性量測模組後，以全模組性能測試達規格，驗證研究議題四：慣性量測模組整合與設計達 TRL3。
三、整合 4 項關鍵技術，透過實驗室環境下，驗證加速儀與光纖陀螺儀等感測元件性能，達 TRL4
四、承上，持續整合 4 項關鍵技術，透過相關環境試驗，驗證慣性量測模組中加速儀與光纖陀螺儀等感測元件性能，達 TRL5。</td>
</tr>
</table>

六　期程工項

一、議題分工及期程規劃

在分工方面，中科院主要負責前置放大器縮裝與設計技術、微機電加速儀介面整合技術、低環境擾動之光纖陀螺儀製造技術、以 MCU 作為運算核心之光纖陀螺儀閉迴路控制器設計與製造與慣性量測模組組裝與測試；學界則是協助矽光子晶片製造與封裝技術以及複用 A/D 或 D/A 轉換器演算法技術開發。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
矽光子晶片整合與封裝技術（T1）	矽光子晶片製造與封裝技術	學研單位	112-114	1. Insertion loss (@1530 nm): < 25 dB. 2. Polarization extinction ratio (@1530 nm): > 20 dB. 3. Returned loss (@1530 nm): < -30 dB. 4. Half-wave voltage (@1530 nm): < 8 V. 5. 具 RIN 抑制功能； 6. 平均波長偵測 < 1 nm； 7. 晶片溫控<1 ^{o}C。 8. 使用直徑小於(含) 80/135 um 之偏振光纖製作晶片光學訊號輸入/出。
	前置放大器縮裝與設計技術	學研單位	112-114	1. Transimpedance gain: > 20 kΩ. 2. Gain bandwidth (-3dB): > 8 MHz
感測元件整合與製程精進技術(T2)	微機電加速儀介面整合技術	中科院	112-114	1. Bias stability (1σ): < 1 mG.
	低環境擾動之光纖陀螺儀製造技術	中科院	112-114	1. 光纖環製程： (1) Total fiber length: > 160 m. (2) Coil diameter: < 50 mm. (3) Insertion loss: < 0.2 dB. (4) Polarization extinction ratio: > 20 dB. (5) 使用四極以上對稱性繞線製程。 2. 使用超螢光二極體(SLD)或光纖雷射光源(FLS)作為光源，進行光纖陀螺儀光學系統設計。

			光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術(T3)	複用A/D或D/A轉換器演算法技術	學研單位	112-114	1. 使用單一 A/D 或 D/A 轉換器進行光纖陀螺儀閉迴路控制。 2. 使用分時、分波或其他多工技術。	
				以MCU作為運算核心之光纖陀螺儀閉迴路控制器設計與製造	學研單位	112-114	1. 搭配演算法技術，設計光纖陀螺儀 A/D 或 D/A 轉換器複用之數位控制器。 2. 具備光纖陀螺儀 V_π on-line calibration 功能。 3. 具備 A/D、D/A 控制功能。	
			慣性量測模組整合與設計(T4)	慣性量測模組組裝與測試	中科院	112-114	1. 三軸光纖陀螺儀使用閉迴路控制技術； 2. 包含三軸光纖陀螺儀、加速儀誤裝角補償； 3. 包含三軸光纖陀螺儀、加速儀零偏/溫度、標度因數/溫度補償； 4. 具備微機電加速儀 SPI 介面控制/接收功能； 5. 陀螺儀規格(以 Allan variance 分析，1σ)：Bias instability< 1 ^{o}/hr；ARW < 1 $^o/\sqrt{hr}$。	

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
矽光子晶片整合與封裝技術			
感測元件整合與製程精進技術			
光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術			
慣性量測模組整合與設計			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
矽光子晶片整合與封裝技術			
感測元件整合與製程精進技術			
光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術			
慣性量測模組整合與設計			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
矽光子晶片整合與封裝技術			
感測元件整合與製程精進技術			
光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術			
慣性量測模組整合與設計			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 / 補助項目	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)							
a.研究人力費							
b.材料、耗材及雜項費用							
c.差旅費							
研究設備費							
管理費							
合計							

附件一

		二、重大研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明	數量	單價 (仟元)	金額 (仟元)	建置場域	結案後 設備規劃
光學極化串擾分布分析儀	矽光子晶片的測試設備，進行光學性能檢測。	1			學研單位	結案後，設備歸學研單位研究使用

八	預期成果	提升中科院自製光纖陀螺儀慣性量測模組(FIMU)之尺寸、重量、等性能，向國際產品接軌，配合院內發展軍、民用途之小型無人載具、低地球軌道微衛星，或短程防空、空射飛彈時，具備慣性導航儀的產製技術能量，提升國內自製率。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有TRL 等級	TRL 評定理由	目標TRL 等級	風險評估說明
1	矽光子晶片整合與封裝技術	TRL2	矽光子晶片應用於主、被動調制器廣泛地被研究與應用；使用於光纖陀螺儀系統中且高度整合之產品則有限。現有學研單位設計、試製產出整相位調制器、耦光器、檢光器、偏振器之原型樣品，但仍無法滿足使用於光纖陀螺儀系統中之性能需求。光電二極體與 TIA 電路的整合中科院在生產光纖陀螺儀的過程中，累積充分經驗，但搭配矽光子晶片，則無此一實用經驗。亦無使用 ASIC 製程技術 TIA 元件之經驗。	TRL5	下線製造委託國內外廠商，若履約期程較長，恐致計畫延宕。學研單位依本案規格與時程需求，擇優挑選矽光子晶片製程廠商，並優先考慮國內製程資源，如：國家半導體中心等，若製程規格不符時，再考慮委託國外製程資源。
2	感測元件整合與製程精進技術	TRL2	感測元件之範疇涵蓋加速儀與陀螺儀；加速儀與其放大電路的整合中科院在生產慣性量測模組的過程中，累積充分經驗。搭配微機電加速儀，並高度整合則尚無實際時作經驗。本技術將以院內生產慣性量測模組經驗為基礎，配合微機電加速儀輸出訊號格式與通訊介面，規劃與設計周邊前置放大器。 院內生產光纖陀螺儀之經驗，四極繞線製程已完備，其他繞線製程以及其對於環境敏感程度，仍待模擬與實驗驗證。	TRL5	尚無已辨識之風險。

附件一

3	光纖陀螺儀多工閉迴路控制技術	TRL2	以院內量產慣性量測模組經驗，三軸光纖陀螺儀閉迴路控制之能力以完備。而三軸分時多工之處理方式，則尚無相關使用經驗。僅透過文獻與專利蒐集，評估技術可行。院內生產光纖陀螺儀與慣性量測模組的經驗中，將此一演算法則以三軸獨立回授控制的方式,植入FPGA中，後端再以 MCU 作為補償與對外通訊的介面。而以單一 MCU 且整合分時多功的方式進行三軸光纖陀螺儀回授控制的技術則尚無實務經驗，透過專利與文獻蒐集，評估技術可行。	TRL5	尚無已辨識之風險。
4	慣性量測模組整合與設計	TRL2	依院內量產經驗，已具備三軸光纖陀螺儀與三軸加速儀整合為單一慣性量測模組之技術。使用矽光子晶片於光纖陀螺儀，並縮裝慣性量測模組的整合與設計則尚無經驗，僅透過文獻研討以及國外產品趨勢分析，評估技術可行。	TRL5	尚無已辨識之風險。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：高功率微波源產生器設計製作</td><td>計畫期程：112-115年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：電子工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：資通所電子戰組　　聯絡人：聶雅玉　電話：03-4712201#353474</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">脈衝電源除了對性能(上升時間、電壓大小、脈寬等)之要求極高以外，更由於重量體積經常過於龐大，往往成為系統縮裝時難以克服之瓶頸。而微波源的研製因涉及電漿放電、微波電子學等高難度模擬議題外，在硬品製作上亦涵蓋高真空維持、金屬陶瓷氣密銲接以及強磁場產生等。
故本研究計畫目的，在於整合本院及校方研發能量與技術，研製其中最關鍵之緊湊型脈衝電源，以及高功率微波源(相對論磁控管)，完成高功率微波產生器之雛形設計研製。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
本計畫研發議題包括(1)脈衝電源設計與研製、(2)相對論磁控管設計與製程開發、以及(3)整合測試，各議題間之關係如計畫架構圖所示，將脈衝電源所產生之電脈衝訊號導入相對論磁控管，轉換成微波輸出，透過整合測試量測結果。

計畫架構圖如下：</td></tr>
</table>

脈衝電源設計研製

火花間隙開關(12 級以上)開發與量測
- 電極頭尺寸設計
- 觸發開關電極設計及觸發電路設計製作

各項寄生電容、電感模擬估算或驗測
- 火花間隙開關寄生電容、導通電感與電阻估算
- 電源模組各層間及與外殼寄生電容估算

脈衝電源全系統設計定案
- PSpice 電路輸出特性模擬
- 配置及結構藍圖

脈衝電源全系統雛形試製
- 零組件加工及籌購
- 全系統組裝

短脈衝分壓電路量測技術
- 分壓量測電路及低電感匹配負載研製

全系統測試
- 匹配負載下電性量測技術
- 系統參數調整

相對論磁控管設計與製程開發

衍射輸出相對論磁控管(MDO)模擬設計

爆炸式發射陰極材質分析
- 陰極放電特性量測技術開發
- 陰極材質及表面狀況之放電特性量測

高磁通密度電磁鐵(可調式)研製
- 高磁通密度電磁鐵設計(鐵芯、電流、線徑)
- 電磁鐵電源系統籌獲

大尺寸陶瓷金屬封裝技術
- 高真空度陶瓷金屬焊接

相對論磁控管結構設計及藍圖繪製

相對論磁控管硬品製作
- 相對論磁控管零件加工籌獲及組裝焊接
- 相對論磁控管高真空度處理技術(抽真空及加溫烘烤)

整合測試
- 脈衝電源與磁控管硬品整合
- 系統調校、測試及修改
- 匹配天線製作及高功率微波量

二、成果產出及需求規格

國外類似系統多出現在國家型實驗室或一級大學院校，下面分別整理出文獻中有揭露輸出規格的緊湊型 Marx 脈衝電源及相對論磁控管，本案所定規格亦以此為參考。至於兩者整合後之高功率微波發射器在使用上則無特殊場景需求，一般室外環境皆可。

緊湊型脈衝電源：

	輸出電壓(匹配) /kV	脈寬 /ns	上升時間 /ns	重複頻率 /Hz
美國 APELC	400	30		3～5
美國 德州大學	500	200	50	10
瑞典	430			
美國 盤狀傳輸線	500	200		
法國	165		14	
韓國	500	＞40		
中國	550	75		10

相對論磁控管：

	頻率 /GHz	電壓 /kV	電流 /kA	磁場強度 /T	輸出功率 /MW	脈衝寬度 /ns	效率% (功率效率)
美國 MIT A6	4.6	800	14	1.0	500	30	4
美國 MIT D6	4.1	300	25	0.49	200	30	3
美國 MIT K8	2.5	1400	22	0.54	50	30	0.2
美國	3.9	900	16	1.6	4500	16	30

LLNL							
俄羅斯 SRINP 1	2.4	1100	4	1.2	2000	50	45
俄羅斯 SRINP 2	2.4	450	6	0.4	800	300	30
俄羅斯 IAP 1	9.1	600	7	0.6	500	20	12
俄羅斯 IAP 2	9.1	600	7	0.6	500	20	12
美國 PI 1	1.1	800	34	0.85	3600	10	13
美國 PI 2	2.8	700	20	1.0	3000	20	20
美國 PI 3	8.3	1000	30	1.0	300	10	0.1
中國大陸	2.32	550	7.8	0.33	1000	38	23

產出項量：

112 年：

1. 脈衝電源模擬設計報告：
   (1) 輸出電壓：≧360 kV
   (2) 上升時間：≦25 ns
   (3) 脈寬：≧120 ns
   (4) 體積尺寸：直徑≦60 cm，長度≦160 cm (不含充電電源)
   (5) 重複率：PRF≧3
2. 相對論磁控管設計報告：
   (1) 頻段：S 頻段
   (2) 輸出功率：≧600 MW
3. 可調式電磁鐵(含供電電源)設計方案：
   (1) 磁場可調範圍：0.3～0.8 Tesla
   (2) 磁場作用區域：磁控管互作用區

113 年：

1. 完成脈衝電源模組組裝及測試
   (1) 輸出電壓：≧360 kV
   (2) 上升時間：≦25 ns
   (3) 脈寬：≧120 ns
   (4) 體積：直徑≦60 cm，長度≦160 cm (不含充電電源)
   (5) 重複率：PRF≧3
2. 相對論磁控管之單元模組製作與測試
   (1) 模擬場發射下之冷陰極電流測試分析
   (2) 陶瓷、金屬焊接參數及氣密性測試分析報告
   (3) 相對論磁控管設計藍圖
3. 可調式電磁鐵硬品製作
   (1) 磁場可調範圍：0.3～0.8 Tesla
   (2) 磁場作用區域：磁控管互作用區

114 年：

1. 相對論磁控管與電磁鐵硬品組裝。
2. 脈衝電源及相對論磁控管整合硬品一組(尚不含性能測試)。
   (1) 體積尺寸：直徑≦60 cm，長度≦200 cm (不含充電電源、電磁鐵電源及軸向輸出埠)

115 年：

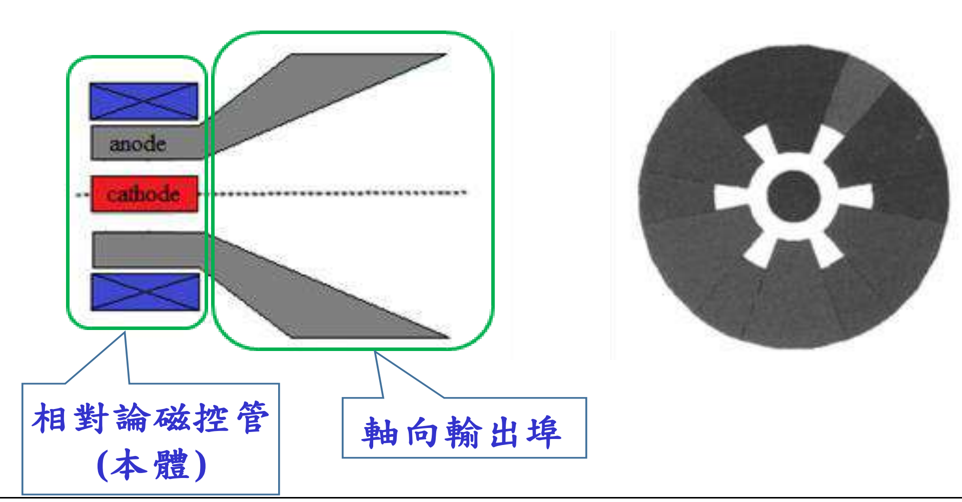
1. 完成高功率微波發射器，微波頻段：S 頻段，輸出峰值功率：≧600 MW，輸出模式為 $TE_{(n/2)1}$ 模式(n 為腔體數)，重複率：PRF≧3，體積尺寸：直徑≦60 cm，長度≦200 cm (不含充電電源、電磁鐵電源及軸向輸出埠)。
2. 完成系統整合測試報告

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	脈衝電源模擬設計	報告	1 份	(1)輸出電壓：≧360 kV (2)上升時間：≦25 ns (3)脈寬：≧120 ns (4)體積尺寸：直徑≦60 cm，長度≦160 cm (不含充電電源) (5)重複率 PRF≧3
2	學研單位	相對論磁控管設計	報告	1 份	(1)頻段：S 頻段 (2)輸出功率：≧600 MW (3)輸出模式 $TE_{(n/2)1}$ 模式(n 為腔體數)
3	學研單位	相對論磁控管製程開發	報告	1 份	(1)電磁鐵設計藍圖及參數 (2)陶瓷、金屬焊接方式及所有操作參數(含升溫曲線、氣體壓力等)
4	中科院	高功率微波發射器	硬體	1 套	(1)微波頻段：S 頻段 (2)輸出峰值功率：≧600 MW (3)微波模式：$TE_{(n/2)1}$(n 為腔體數) (4)重複率：PRF≧3 (5)體積尺寸：直徑≦

					60 cm，長度≦200 cm (不含充電電源、電磁鐵電源及軸向輸出埠)
5	中科院	整合測試	報告	1 份	同項次 4 之硬體規格

三、驗測方式規劃

本案預計採用的「衍射輸出相對論磁控管(MDO)」，其側向剖面圖大致如下，它主要是由相對論磁控管的本體、也就是所謂的互作用區(電子和電磁場作用的區域)和軸向輸出埠(電磁波輸出的區域)組成的。由於這種輸出埠的形狀，使得它具有 horn 天線的特性。目前構想是盡可能將磁控管之輸出埠與標準天線匹配，便可以現有標準天線進行功率校正，再將此標準天線與磁控管配接，於室外空曠場所透過距離衰減場強，並以接收天線接收來量測輸出功率，此測試環境也與實際運用環境接近。(此僅為目前構想，屆時仍須視模擬設計結果決定是否可行，否則便自行製作匹配天線)



四	運用構想	完成高功率微波產生器開發製作，並可在實驗室或一般戶外場地執行微波輸出功率量測，以驗證是否符合目標規格。未來配合高增益高功率天線，可對無人機或一般電子設備進行破壞效應測試。
五	技術	1. 脈衝電源研製技術，現有技術等級為 TRL3，計畫結束後預期可達 TRL5。

<table>
<tr><td></td><td>備便水準評估</td><td>2. 相對論磁控管研製技術，現有技術等級為 TRL2，計畫結束後預期可達 TRL5。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>一、議題分工及期程規劃
在分工方面，脈衝電源議題上，中科院主要負責電路架構設計及硬品製作，學界則是協助火花開關設計及觸發電路製作、分壓量測技術開發。磁控管議題上，學界主要負責模擬、部分製程開發及硬品設計製作。最後整合測試則主要由中科院負責。</td></tr>
</table>

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一脈衝電源設計與研製	火花間隙開關開發與量測	學研單位	112	1. 火花間隙開關電極頭尺寸設計。 2. 觸發開關電極結構設計及觸發電路設計製作。 3. 火花開關崩潰電壓量測。
	各項寄生電容、電感模擬估算或量測	中科院	112	1. 層級間寄生電容、電感模擬。 2. 本體與外殼間寄生電容、電感估算。 3. 火花間隙開關開路寄生電容、導通電感與電阻值估算。
	脈衝電源全系統設計定案	中科院	112	元件配置及結構藍圖繪製。
	脈衝電源全系統雛形試製	中科院	113	1. 零組件加工及籌購 2. 全系統組裝。 3. 量測設備及測試場地建立。
	短脈衝之分壓電路量測技術	學研單位	113	分壓量測電路及低電感匹配負載研製。
	脈衝電源全系統測試	中科院	113-114	1. 脈衝電源匹配負載下電性量測。 2. 系統參數調整。

相對論磁控管設計與製程開發	相對論磁控管模擬設計	學研單位	112	1. 相對論磁控管結構設計。 2. 操作電壓、磁場及輸出功率最佳化。
	爆炸式發射陰極材質分析	學研單位	112	1. 陰極放電特性量測技術開發。 2. 陰極材質及表面狀況之放電特性量測。
	高磁通密度電磁鐵(可調式)研製	學研單位	112-113	1. 高磁通密度電磁鐵設計。 2. 電磁鐵電源系統籌獲。
	大尺寸陶瓷金屬封裝技術	學研單位	113	高真空度大面積陶瓷金屬焊接(焊料、溫度、時間等參數)。
	相對論磁控管結構設計及藍圖繪製	中科院	113	相對論磁控管硬品結構設計及藍圖繪製(含細部構造)。
	相對論磁控管硬品製作	中科院	114	1. 相對論磁控管(電磁鐵版)零件加工籌獲及組裝焊接。 2. 相對論磁控管(電磁鐵版)高真空度處理技術(抽真空及加溫烘烤)。
整合測試	脈衝電源與磁控管硬品整合	中科院	114-115	脈衝電源與磁控管硬品整合組裝。
	高功率微波量測	中科院	114-115	1. 測試場地籌建。 2. 測試設備採購安裝 3. 微波功率量測及校正。
	系統調校、測試及修改	中科院	115	進行系統修正、測試使輸出結果符合規格

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位	中科院	學研單位	小計

研究議題			
脈衝電源設計研製 ➢ 火花間隙開關開發與量測 ➢ 各項寄生電容、電感模擬估算或量測 ➢ 脈衝電源全系統設計定案			
相對論磁控管設計與製程開發 ➢ 相對論磁控管模擬設計 ➢ 爆炸式發射陰極材質 ➢ 高磁通密度電磁鐵(可調式)研製			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
脈衝電源設計研製 ➢ 脈衝電源全系統雛形試製 ➢ 短脈衝之分壓電路量測技術 ➢ 脈衝電源全系統測試			
相對論磁控管設計與製程開發 ➢ 高磁通密度電磁鐵(可調式)研製 ➢ 大尺寸陶瓷金屬封裝技術 ➢ 相對論磁控管結構設計及藍圖繪製			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
脈衝電源設計研製			
相對論磁控管設計與製程開發 ➢ 相對論磁控管硬品製作 •零件加工籌獲及組裝焊接 •高真空度處理技術			
整合測試 ➢ 脈衝電源及相對論磁控管硬品整合(機構設計)			
總計			

115 年

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
整合測試 ➢ 脈衝電源及相對論磁控管硬品整合(組裝) ➢ 系統測試、調校及修改 ➢ 高功率微波量測			
總計			

七　成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

補助項目 \ 執行年次	第一年(112年)		第二年(113年)		第三年(114年)		第四年(115年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費(a+b+c)									
a. 研究人力費									
b. 材料、耗材及雜項費用									
c. 差旅費									
研究設備費									
管理費									
合計									

二、重要研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明 （含用途、數量或備註內容）	概估金額 （仟元）	建置場域	結案後 設備規劃
實驗室整備	接地、吸波體防護、地面絕緣鋪設		中科院、學研單位各自建置	中科院、學研單位各自保留

網路分析儀	量測微波管insertion loss/2台		中科院、學研單位各1台	中科院、學研單位各自保留
電源供應器	脈衝電源充電/2～3台		中科院	中科院
高真空腔體	陰極電流特性量測		學研單位	學研單位

八	預期成果	1. 建立脈衝電源全系統模擬設計、關鍵零組件製作以及相關高壓量測技術能量。 2. 建立相對論磁控管模擬設計能量以及相關製程開發。 3. 完成脈衝電源硬品一組，負載阻抗匹配下輸出電壓≧360 kV(12 級以上)，上升時間≦25 ns，脈寬≧120 ns，重複率 PRF≧3。 4. 完成相對論磁控管設計及硬品製作，與脈衝電源整合後，輸出微波頻段：S 頻段，峰值功率≧600 MW，輸出模式為 TE(n/2)1 模式，體積尺寸：直徑≦60 cm，長度≦200 cm (不含充電電源、電磁鐵電源及軸向輸出埠)。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	脈衝電源研製技術	3	1. 於 109/110 年度的研究試製案中，透過研製兩級十段的脈衝成型電路，完成緊湊型脈衝電源中至為關鍵的 L/C 參數設計與電路驗證，TRL 等級為 3。 2. 本案完成後組件可於相關環境下確認脈衝電源的輸出性能，TRL 等級評定為 5。 (本案將於戶外模擬實際運用環境，進行性能測試)	5	1. 本案風險等級中。 2. 脈衝電源中的火花間隙開關性能對脈衝電源的輸出特性有決定性影響。開關的穩定性、同步觸發與將是關鍵技術。 3. 本案所研製之脈衝電源輸出電壓達數百千伏，全系統的耐壓絕緣以及量測皆為實際研製時需考量之處。參與之學研單位至少須具備數十千伏以上之相關技術及經驗，量測設備及實驗場地本院與校方須配合建置，才能完成相關試驗。 4. 預判完成脈衝電源模組組裝及測試後，風險等級降為低。 5. 預判完成與相對論磁控管整合測試後，風險等級降為無。

2	相對論磁控管研製技術	2	1. 此領域已具有充足的理論分析及應用實例，概念驗證可行。本院目前具備模擬相關技術，但尚未有硬品製作相關技術建立，故現有 TRL 等級評定為2。 2. 本案完成後組件可於相關環境下確認磁控管的輸出性能，TRL 等級評定為5。 (本案將於戶外模擬實際運用環境，進行性能測試)	5	1. 本案風險等級中。 2. 相對論磁控管的運作機制相當複雜，模擬結果能否與實測值間有好的一致性相當重要。 3. 磁控管屬高真空器件，對於組裝焊接的要求較為嚴苛，所需的焊接爐具設備需盡早籌獲、或尋求有關技術單位協助。 4. 相對論磁控管需靠脈衝電源的驅動方能工作，因此脈衝電源的研製進度務必超前磁控管，才能降低磁控管研製風險。 5. 此外，磁控管的部分特性與輸入電壓、也就是脈衝電源的輸出規格密切相關，這也意味著若要調整磁控管，有時必須要兩者同步修改方能完成，往往會造成研發時程的增加。 6. 預判完成單元模組製作及測試後，風險等級降為低。 7. 預判完成硬品製作及測試後，風險等級降為無。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：PQC 後量子密碼演算法於 FPGA 實作與驗證</td><td>計畫期程：112-115 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：資訊工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：資通所通信組　　聯絡人：徐育鋒　　電話：03-4712201#353057</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">1. 掌握美國 NIST PQC 徵選作業進展。
2. 了解 PQC 技術發展概況。
3. 對 PQC 候選方案進行安全性理論分析。
4. 對 PQC 候選方案進行加密/解密或簽章/驗章之效率分析。
5. 對 PQC 候選方案進行旁通道攻擊分析。
6. 進行 PQC 候選方案 FPGA 實作與驗證。
7. 依前述分析結論，設計等效安全之變異版 PQC 方案。
8. 依前項之變異版方案，開發軟體程式，並於 FPGA 上實作，以交互驗證加密/解密之正確性及運算效能。
9. 運用前述實作結果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
研發項目分為
1. 議題一：中科院指定 2 個數位簽章演算法和 2 個加密演算法及其產密程序分別於 FPGA 上實作與驗證。
2. 議題二：中科院已指定之 4 個演算法實作結果優化。
3. 議題三：中科院已指定之 4 個演算法之等效安全變異分析，軟體程式開發，並於 FPGA 上實作，以交互進行正確性驗證及運算效能。
4. 議題四：運用中科院已指定之 4 個演算法實作結果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統。
各議題間之關係如計畫架構圖所示，議題二為議題一之延續；議題三之研究標的與議題一相同，研發方向為設計等效安全之變異版演算法，並進行實作與驗證；議題四為議題一至議題三之實作成果應用。</td></tr>
</table>

議題一(112年)
中科院指定
2個數位簽章演算法和2個加解密演算法
及其產密程序分別於FPGA實作

數位簽章演算法
技術研析

數位簽章演算法
旁通道攻擊研析

數位簽章演算法
於FPGA上實作

數位簽章演算法
實作效能分析

數位簽章演算法
實作正確性驗證

議題一(113年)
中科院指定
2個數位簽章演算法和2個加解密演算法
及其產密程序分別於FPGA實作

加解密演算法
技術研析

加解密演算法
旁通道攻擊研析

加解密演算法
於FPGA上實作

加解密演算法
實作效能分析

加解密演算法
實作正確性驗證

議題二(114年)
中科院已指定之
4個演算法實作結果優化

數位簽章演算法
優化實作

加解密演算法
優化實作

數位簽章演算法
優化驗證

加解密演算法
優化驗證

議題三(114年)
中科院已指定之
4個演算法之等效安全變異分析及實作

數位簽章演算法
等效安全變異分析

加解密演算法
等效安全變異分析

變異版數位簽章
演算法軟體實作

變異版加解密
演算法軟體實作

變異版數位簽章
演算法於FPGA實作

變異版加解密
演算法於FPGA實作

變異版數位簽章
演算法效能分析

變異版加解密
演算法效能分析

變異版數位簽章
演算法正確性驗證

變異版加解密
演算法正確性驗證

議題四(115年)
運用演算法實作結果，
整合至密鑰管理系統、PKI/CA系統
或其它通信系統

二、成果產出及需求規格

1. PQC 標準徵選階段各投稿方案以軟體實作為主，本案目標為將 PQC 演算法於 FPGA 實作，並進行旁通道攻擊研析、實作效能及正確性驗證。
2. 本案進行 PQC 演算法等效安全之變異版研析及實作，俾利累積本院後續開發國軍新型保密通信裝備能量，汰除舊式裝備。
3. PQC 演算法可提供身分認證功能並抵抗量子電腦攻擊，本案運用實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統，以提升前述系統安全性及抵抗量子電腦攻擊。

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	測試報告 (112 年)	報告	1 份	中科院指定之數位簽章演算法，對學研單位實作進行正確性驗證。
2	中科院	測試報告 (113 年)	報告	1 份	中科院指定之加解密演算法，對學研單位實作進行正確性驗證。
3	中科院	測試報告 (114 年)	報告	1 份	1. 中科院已指定之加解密演算法及數位簽章演算法，對學研單位優化實作進行驗證。 2. 前述演算法等效安全之變異版，對學研單位實作進行正確性驗證及效能分析。
4	中科院	測試報告 (115 年)	報告	1 份	對學研單位運用前三年成果，整合密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統進行正確性驗證。

5	學研單位	數位簽章 FPGA 模組 (112 年)	硬體	2 件	中科院指定 2 個數位簽章演算法，以 Verilog 語言開發可於 Xilinx FPGA 開發版(EK-U1-ZCU104-G)執行。
6	學研單位	數位簽章 FPGA 模組實作報告 (112 年)	報告	1 份	中科院指定 2 個數位簽章演算法之技術研析、旁通道攻擊研析、實作效能、正確性驗證。
7	學研單位	加解密 FPGA 模組 (113 年)	硬體	2 件	中科院指定 2 個加解密演算法程式架構，以 Verilog 語言開發可於 Xilinx FPGA 開發版(EK-U1-ZCU104-G)執行。
8	學研單位	加解密 FPGA 模組實作報告 (113 年)	報告	1 份	中科院指定 2 個加解密演算法之技術研析、旁通道攻擊研析、實作效能、正確性驗證。
9	學研單位	PQC FPGA 優化模組 (114 年)	硬體	4 件	中科院指定 4 個演算法之優化演算法程式架構，以 Verilog 語言開發可於 Xilinx FPGA 開發版(EK-U1-ZCU104-G)執行。
10	學研單位	變異版 PQC FPGA 模組 (114 年)	硬體	4 件	中科院指定 4 個演算法之等效安全版本程式架構，以 Verilog 語言開發可於 Xilinx FPGA 開發版(EK-U1-ZCU104-G)執行。
11	學研單位	變異版 PQC 演算法	軟體	4 套	中科院指定 4 個演算法之等效安全版本模

		(114 年)			擬程式架構，以 C 語言開發可於 Linux 作業系統使用 GCC 進行編譯及執行。
12	學研單位	PQC FPGA 優化模組和變異版 PQC FPGA 模組及演算法實作報告 (114 年)	報告	1 份	中科院已指定 4 個演算法之實作優化並驗證，及等效安全之變異版研析、旁通道攻擊研析、實作效能、正確性驗證。
13	學研單位	PQC FPGA 模組與系統整合 (115 年)	軟體	1 套	運用前三年之實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統
14	學研單位	整合報告 (115 年)	報告	1 份	運用前三年之實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統之正確性驗證。

三、驗測方式規劃

1. 指定之加解密演算法及數位簽章演算法，以 NIST 投稿方案提供之已知答案測試(KAT)為標準，分別用軟體、硬體、及軟硬體交互進行加密/解密及簽章/驗章，將各項輸入/輸出與 KAT 進行比對。
2. 指定之加解密演算法及數位簽章演算法等效安全之變異版，分別以軟體、硬體、及軟硬體交互進行加密/解密及簽章/驗章之輸入/輸出，將各項輸入/輸出進行交互比對。
3. 指定之加解密演算法及數位簽章演算法實作優化，以優化前實作結果(如效能或硬體資源)進行比對。
4. 將 PQC 實作成果導入既有雛形系統，須滿足加密/解密等機密資訊保護，以及簽章/驗章等身分認證功能。

<table>
<tr>
<td>四</td>
<td>運用構想</td>
<td>1. PQC 利用量子電腦無法有效解決的數學問題,建構可以抵抗量子電腦攻擊並可應用於現行通訊協定與網路系統之前瞻保密系統。
2. 利用 PQC 進行密鑰交換/分配，將能建立抗量子電腦攻擊的加密/認證能力，並達到更安全的通信要求，可運用於國防/軍事等高機敏通信網路。
3. 將 PQC 導入 PKI/CA 系統，可運用於 QKD 量子密鑰分發網路，能解決 QKD 遭遇中間人攻擊的問題，強化 QKD 安全。</td>
</tr>
<tr>
<td>五</td>
<td>技術備便水準評估</td>
<td>一、里程碑：
1. 第 1 年(112 年)，完成中科院指定之數位簽章演算法及其產密程序於 FPGA 上實作與驗證。
2. 第 2 年(113 年)，完成中科院指定之加密演算法簽章演算法及其產密程序於 FPGA 上實作與驗證。
3. 第 3 年(114 年)，完成第 1 年及第 2 年的實作結果優化與驗證；完成第 1 年及第 2 年指定之演算法進行等效安全變異分析，開發軟體程式，並於 FPGA 上實作，交互進行正確性驗證及運算效能。
4. 第 4 年(115 年)，完成運用第 1 年至第 3 年之實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統。

二、查核點：執行年度 9 月</td>
</tr>
<tr>
<td>六</td>
<td>期程工項</td>
<td>一、議題分工及期程規劃
在分工方面，中科院主要負責正確性驗證及效能測試，學界則是協助 PQC 演算法 FPGA 實作製作、等效安全之變異版 PQC 演算法開發及軟體和 FPGA 實作、將實作成果整合至系統。
<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行單位</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
<tr><td rowspan="3">中科院指定2個數位簽章演算法和2個加密演算法及其產密程序分別於FPGA上實作與驗證</td><td>數位簽章演算法實作結果之正確性驗證</td><td>中科院</td><td>112</td><td>將學研單位實作成果與已知答案測試(KAT)進行比對。</td></tr>
<tr><td>數位簽章演算法於FPGA實作</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>由中科院指定2個數位簽章演算法及其產密程序於FPGA上實作與驗證。</td></tr>
<tr><td>加密演算法實作結果之正確性驗證</td><td>中科院</td><td>113</td><td>將學研單位實作成果與已知答案測試(KAT)進行比對。</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

	加密演算法於FPGA實作	學研單位	113	由中科院指定2個加密演算法及其產密程序於FPGA上實作與驗證。
中科院已指定之4個演算法實作結果優化	優化實作之結果驗證	中科院	114	將學研單位優化實作成果與優化前成果進行驗證。
	議題一實作結果優化	學研單位	114	將中科院已指定之4個演算法之實作結果進行優化。
中科院已指定之4個演算法之等效安全變異分析，軟體程式開發，並於FPGA上實作，以交互進行正確性驗證及運算效能	安全等效之變異版演算法實作結果之正確性驗證	中科院	114	將學研單位實作成果分別以軟體與硬體執行，並交互進行正確性驗證。
	議題一指定之演算法進行等效安全變異分析，開法軟體程式，並於FPGA實作	學研單位	114	針對中科院已指定之4個演算法進行等效安全變異分析，開法軟體程式，並於FPGA實作，以交互進行正確性驗證及運算效能。
運用中科院已指定之4個演算法實作結果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA系統或其它通信系統	整合結果之正確性驗證	中科院	115	針對學研單位實作結果進行正確性驗證。
	運用議題一至議題三實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA系統或其它通信系統	學研單位	115	運用中科院已指定之4個演算法實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA系統或其它通信系統，並進行驗證。

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
數位簽章演算法實作結果之正確性驗證			
數位簽章演算法於 FPGA 實作			
總計			

113 年

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
加密演算法實作結果之正確性驗證			
加密演算法於 FPGA 實作			
總計			

114 年

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
優化實作之結果驗證			
議題一實作結果優化			
安全等效之變異版演算法實作結果之正確性驗證			
議題一指定之演算法進行等效安全變異分析，開法軟體程式，並於 FPGA 實作			
總計			

115 年

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
整合結果之正確性驗證			
運用議題一至議題三實作成果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統			
總計			

<table>
<tr><td>七</td><td>成本分析</td><td>

一、申請補助經費

金額單位：仟元

<table>
<tr><td rowspan="2">執行年次
補助項目</td><td colspan="2">第一年
(112年)</td><td colspan="2">第二年
(113年)</td><td colspan="2">第三年
(114年)</td><td colspan="2">第四年
(115年)</td><td rowspan="2">全程總經費</td></tr>
<tr><td>中科院</td><td>學研單位</td><td>中科院</td><td>學研單位</td><td>中科院</td><td>學研單位</td><td>中科院</td><td>學研單位</td></tr>
<tr><td>業務費
(a+b+c)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>a. 研究人力費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>b. 材料、耗材及雜項費用</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>c. 差旅費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>研究設備費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>管理費</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">合計</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
</table>

</td></tr>
<tr><td>八</td><td>預期成果</td><td>由學研單位針對中科院指定之加解密演算法和數位簽章演算法，及其等效安全之變異版，進行軟體實作、於 FPGA 實作、實作優化(如效能或硬體資源)、技術研析、旁通道攻擊研析、效能研析，並運用實作結果，整合至密鑰管理系統、PKI/CA 系統或其它通信系統，滿足加密/解密等機密資訊保護，以及簽章/驗章等身分認證功能。實作經驗及成果有助於後續國軍保密裝備設計密鑰交換/分配機制之基礎，以及升級密鑰管理系統、PKI/CA 系統。</td></tr>
</table>

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	抗量子電腦攻擊之密碼演算法的雛型開發	2	後量子密碼演算法發展最久已逾40年，至今已有許多相關文獻及理論支持，於業界亦有相關測試產品。本院於109-110年執行PQC後量子密碼學合案，已掌握部分演算法基礎原理及功能，故評定TRL=2。	4	風險等級：低 風險說明： 因FPGA IC目前尚無密碼資訊輸出入之標準介面規範可供依循，故先以自定介面進行開發，惟未來向上整合恐有風險。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱:行動裝置安全組件開發與應用於高頻寬傳輸之研究	計畫期程：112-113 年
全期經費額度：　　　　　　　仟元	研究領域：資訊工程
提案單位：資通所聯安計畫　聯絡人：何姿欣　電話：03-4712201#358774	

項次	項目	研究內容
二	計畫目的	1. 研發一兼具合乎國際標準同時亦內建國軍專屬密式之安全組件，可參數化地彈性選用標準密式或國軍專屬密式，並提升在未來高頻寬傳輸(如 5G 環境)或物聯網應用的相容性。 2. 大容量記憶體(至少 1MB embedded flash)，Core clock 達 100MHz 以上，密碼加速器支援至少 AES256、RSA4096、ECC521 及 True RNG。產出完成至 FPGA 備便，作為下一階段 Si Sample 驗證基礎。 3. 目標運算效能 RSA 2K < 56 ms、ECC-256 < 19ms、AES256 64 clocks、SHA-256 34 clocks。 4. 研發過程採 SSDLC 的設計概念,驗證階段引進資訊技術安全評估共同準則(Common Criteria)，通過各種實體攻擊驗證，以確保研發標的的安全等級。
三	研究議題	一、計畫架構 研發項目分為議題一專屬密式運用與 5G 基礎設備相容性評估、議題二安全組件之晶片規格研擬與確認、議題三晶片設計從 RTL coding 至 FPGA 確認、議題四晶片應用層安全框架開發，含模擬測試 API、議題五防護 Physical Attack 和 SCA 之驗證檢測(依循 Common Criteria 準則)、議題六 5G 環境模擬應用測試評估、議題七物聯網環境模擬應用測試評估，各議題間之關係如計畫架構圖(如圖一)所示，每個議題都需依次解決，但議題五安全驗測過後，第六、七議題的相關應用即可進行。本案將自安全組件的需求分析、晶片規格研擬、晶片設計(含安全設計)、直至完成一矽前(pre-silicon)FPGA 備便的產出，並完成規劃之驗證。

議題一:專屬密式運用與5G基礎設備相容性
細部工作:在5G的環境下，應用層各種資安協定，檢視其與加密演算法的關聯性，提出採用專屬密式與5G基礎設備相容性評估。

議題二:安全組件之晶片規格研擬與確認
細部工作:採用CPU、Core clock、MPU、RAM size、Secure Flash等規格，及密式處理器採用AES、RSA、ECC、True RNG、對抗側通道攻擊(SCA)需求等規格。

議題三:晶片設計從RTL coding至FPGA確認
細部工作:依議題二的產出進行設計、RTL編碼，以RTL prototyping進行弱點偵測與分析。測試旁通道、實體攻擊與資訊流洩漏偵測。

議題四:晶片應用層安全框架開發
細部工作:開發卡片內COS(如Java card)、及應用層安全框架雛型。利用模擬測試API執行卡內與卡外應用層功能測試。

議題五:Physical Attack和SCA之驗證檢測
細部工作:在後矽(post-silicon)階段需要執行的十餘項潛在安全攻擊項目中，選取在FPGA可執行之測試。

議題六:5G環境模擬應用測試評估
細部工作:選用安全保密機制TLS協定，在5G環境下，進行金鑰交換、交互認證、訊息認證測試。

議題七:物聯網環境模擬應用測試
細部工作:結合本院imPlatform的物聯網資訊流保護機制驗測。

圖一、計畫架構圖

議題一：選取 5G 作為評估基礎，進行專屬密式運用與 5G 基礎設備相容性評估，在 5G 的環境下，應用層各種資安協定(如 TLS，FIDO UAF，FIDO Device Onboard 等)，檢視其與加密演算法的關聯性，提出採用專屬密式與 5G 基礎設備相容性評估，建議運用之原則。(執行單位:學研單位與中科院分工)

議題二：安全組件之晶片規格研擬與確認

(一)包含採用 CPU、Core clock、MPU、RAM size、Secure Flash 等規格，及密式處理器採用 AES、RSA、ECC、True RNG、對抗側通道攻擊(SCA)需求等規格，依議題一的結論，提出一組建議規格。(執行單位:學研單位)

(二)依建議規格擬定細部規格(包括系統架構、區塊圖)，設立鑑測認證目標(如 CC EAL5+)。(執行單位:中科院)

議題三：晶片設計從 RTL coding 至 FPGA 確認

(一)依議題二的產出進行設計、RTL 編碼，以 RTL prototyping 進行弱點偵測與分析(Vulnerabilities detection and analysis)。(執行單位:學研單位)

(二)測試下列旁通道攻擊之設計韌性(design resiliency)(執行單位:中科院)

- DPA attacks
- Template attacks

(三)測試下列實體攻擊之設計韌性(design resiliency)(執行單位:中科院)

- Voltage glitching
- Clock glitching

(四)測試資訊流洩漏偵測(leakage detection)(執行單位:中科院)

上述測試平台：ChipWhisperer + CW305 Artix FPGA

研究經費包括平台籌獲及測試技術之技轉，此測試平台包含

ChipWhisperer、CW305 Artix FPGA 兩塊小型模板。

議題四：晶片應用層安全框架開發，含模擬測試 API

(一)利用開源資源(Open source)開發卡片內 COS(如 Java card)、及應用層安全框架雛型，模擬測試 API。(執行單位:學研單位)

(二)利用模擬測試 API 執行卡內與卡外應用層功能測試。(執行單位:中科院)

議題五：防護 Physical Attack 和 SCA 之驗證檢測(依循 Common Criteria 準則)

(一)在後矽(post-silicon)階段需要執行的十餘項潛在安全攻擊項目中，選取在 FPGA 可執行之測試。因所需技術在學研單位並無實務經驗，本案預劃運用材料費與具備實務經驗的廠商合作，採用技術移轉的方式取得最先進測試技術，進行至少包括下列 7 項：(執行單位:中科院)

1. 旁通道攻擊(可部份驗測)
   - Simple Power Analysis (SPA)
   - Differential Power Analysis (DPA)
   - Electro Magnetic Emission Analysis (EMA)
2. Flash content errors
3. Detection of Flash interface errors
4. External clock incorrect frequency
5. 後門 Backdoors (scan, JTAG, etc)
6. State Machine Protection
7. Clock and Reset Protection

議題六：選取 5G 作為評估環境，進行 5G 環境模擬應用測試評估

選用最常見的安全保密機制(cipher scheme)TLS 協定，在 5G 環境下，進行金鑰交換、交互認證、訊息認證等測試：

(一)以標準演算法進行測試評估。(執行單位:學研單位)

(二)以國軍專屬演算法，導入各種可用的 cipher scheme，如 ECDHE、ECDSA，進行測試評估。(執行單位:中科院)

議題七：物聯網環境模擬應用測試評估

結合本院 imPlatform 的物聯網資訊流保護機制：

(一)僅提供 imPlatform 與外部介接之 API 給予呼叫，以標準演算法進行測試評估。(執行單位:學研單位)

(二)以國軍專屬演算法，導入各種可用的 cipher scheme，進行測試評估。(執行單位:中科院)

二、成果產出及需求規格

產出品項為 FPGA、卡內 COS 及應用層安全框架雛型，依據由美國、英國、德國、法國與加拿大等國家制定的國際安全評估共通準則(Common Criteria)之安全規格，此規範被全球多國認定為第三方實驗室驗證、最高層級的 IT 產品安全性認證。本產品將開發符合安全等級 Common Criteria 5+的防護實體攻擊與旁通道攻擊之驗證。研發之安全晶片可於 5G 環境使用行動裝置與指揮管制系統之間安全的傳遞訊息、物聯網資訊安全的傳遞。安全組件主要建置於裝置端以滿足應用系統的需求。

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	FPGA	韌(硬)體	1 套	1. 晶片設計從 RTL coding 至 FPGA 確認。 2. 大容量記憶體(至少 1MB embedded flash)，Core clock 達 100MHz 以上，密碼加速器支援至少 AES256、RSA4096、ECC521 及 True RNG。產出完成至 FPGA 備便，作為下一階段 Si Sample 驗證基礎。 3. 目標運算效能 RSA 2K < 56 ms、ECC-256 < 19ms、AES256 64 clocks、SHA-256 34 clocks。
2	學研單位	卡內 COS 及應用層安全框架雛型	軟體	1 套	利用開源資源(Open source)開發卡片內 COS(chip OS，如 Java card)、及應用層安全

					框架雛型，模擬測試API。

三、驗測方式規劃

晶片設計 FPGA 實體產出，以 113 年 CC 認證準則做為測試驗證; 晶片應用層安全框架開發，含模擬測試 API 實體產出，以 113 年 5G 環境模擬應用及物聯網環境模擬應用做為測試驗證。整合測試環境於本院架設，並在本院執行驗測。

四	運用構想	1. 機動部隊透過 5G 行動裝置與指揮管制系統通訊時，以安全組件進行雙方身分認證、資料來源及正確性確認、並加密保護。 2. 無人載具接受命令導引之命令來源認證、訊息保護。機群飛行時與僚機協調訊息交換之來源確認。
五	技術備便水準評估	本案所需技術備便水準共有三項，如下列： 安全晶片積體電路(IC)設計技術：現有 TRL 等級為 3 資訊技術安全評估共同準則驗證技術：現有 TRL 等級為 5 物聯網環境整合安全晶片應用技術：現有 TRL 等級為 3 詳細評估如技術備便水準（TRL）評估表。
六	期程工項	一、議題分工及期程規劃 在分工方面，中科院主要負責安全組件架構設計、安全檢測設計製作，學界則是協助晶片應用層安全框架開發製作、應用測試的設計製作。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一：選取5G作為評估基礎，進行專屬密式運用與5G基礎設備相容性評估	IoT環境資安協定與加密演算法之研究	中科院	112	1. IoT環境資安協定與加密演算法的相容性研究 2. IoT環境資安協定與加密演算法的關聯性、相容性評估報告
	5G環境資安協定與加密演算法之研究	學研單位	112	1. 5G環境應用層資安協定與加密演算法的關聯性研究 2. 5G環境應用層資

							安協定與加密演算法的關聯性、相容性評估報告	
			議題二：安全組件之晶片規格研擬與確認	安全組件之晶片規格擬定	中科院	112	1. 細部規格、共同準則安全鑑測認證目標擬定	
				安全組件之晶片規格建議	學研單位	112	需求規格建議(含共同準則之安全剖繪Protection Profile, PP)	
			議題三：晶片設計從RTL coding至FPGA確認	設計、編碼實作與測試	中科院	112	1. 設計與RTL編碼 2. 旁通道攻擊之設計韌性與實體攻擊之設計韌性檢測	
				安全檢測與分析	學研單位	112	1. SSDLC之源碼安全檢測 2. RTL prototyping進行弱點偵測與分析	
			議題四：晶片應用層安全框架開發，含模擬測試API	模擬測試API	中科院	112	1. 利用API卡內與卡外應用層功能測試	
				晶片應用層安全框架開發	學研單位	112	1. 開發卡內COS及應用層安全框架雛型	
			議題五：防護Physical Attack和SCA之驗證檢測	共同準則要求之檢測項目驗證	中科院	113	1. 防護Physical Attack和SCA之驗證檢測 2. 配合檢測之實作修正 3. 配合檢測實作修正之密碼學優化	
				安全組件之Security Target研擬	學研單位	113	1. 共同準則要求之Security Target撰擬與驗證	
			議題六：	5G評估環	中科院	113	1. 以國軍專屬演算	

選取5G作為評估環境，進行5G環境模擬應用測試評估	境建置測試			法，導入各種可用的cipher scheme，進行測試評估。 2. 5G模擬系統建立 3. 實作測試評估
	5G環境模擬應用測試	學研單位	113	1. 以標準演算法進行測試評估。 2. 實作測試評估。
議題七：物聯網環境模擬應用測試評估	物聯網環境建置測試	中科院	113	1. 以國軍專屬演算法，導入各種可用的cipher scheme，進行測試評估。 2. imPlatform模擬系統建立。 3. 實作測試評估。
	物聯網環境模擬應用測試	學研單位	113	1. 以標準演算法進行測試評估。 2. 實作測試評估。

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
IoT 環境資安協定與加密演算法之研究			
5G 環境資安協定與加密演算法之研究			
安全組件之晶片規格擬定			
安全組件之晶片規格建議			
設計、編碼實作與測試			
安全檢測與分析			
模擬測試 API			
晶片應用層安全框架開發			
總計			

113 年

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	中科院	學研單位	小計
共同準則要求之檢測項目驗證			
安全組件之 Security Target 研擬			
5G 評估環境建置測試			
5G 環境模擬應用測試			
物聯網環境建置測試			
物聯網環境模擬應用測試			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

補助項目 \ 執行年次	第一年（112年）		第二年（113年）		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費（a+b+c）					
a. 研究人力費					
b. 材料、耗材及雜項費用					
c. 差旅費					
研究設備費					
管理費					
合計					

二、重要研究設備說明

無。

八 預期成果

本計畫成果完成後，國軍即擁有一經驗證滿足在國軍高頻寬傳輸環境，可相容運用安全組件需求之 FPGA 備便之晶片設計，後續仍待以此為基礎，藉由工程發展案實施實作，以至於最後量產。量產產品可以以不同介面型式(form factor)，如 USB Token、MicroSD、TPM、HSM、智慧卡等，滿足國軍在各種應用領域的需求。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	安全晶片積體電路(IC)設計技術	3	本院具備基本的積體電路(IC)設計技術，經參與「資通產品安全性共同準則評估關鍵技術」的安全晶片驗證技術後，具備設計技術達TRL3 等級。	5	現有資訊技術安全評估共同準則(CC)涵蓋攻擊手法之抵抗方法，有現有 IP 可籌獲整合並測試評估。若有新增之攻擊手法，要開發相對的抵抗方法，有時程上的風險。
2	資訊技術安全評估共同準則驗證技術	5	本院「資通產品安全性共同準則評估關鍵技術」已建立驗證技術達 TRL5 等級。	6	本院現有實驗室設備，足以對資訊技術安全評估共同準則(CC)現有攻擊手法進行驗證，若 CC 有新增之攻擊驗證，設備有不足之虞。
3	物聯網環境整合安全晶片應用技術	3	本院專業組多年從事各項物聯網研發與委製，有基本的整合專業技術。惟運用安全組件以提供資安保護，須在本案中提升。	5	物聯網搭配安全組件，常運用於航空、軍事、自駕、機敏工業環境等情境，建置高擬真模擬環境需高額經費，規模不足則無法得到完整測評資料。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱: 以連續流微通道反應器開發 HTPB 合成技術</td><td>計畫期程：112-115 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：　　　仟元</td><td>研究領域：化學工程/材料工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">需求提案單位：化學研究所/高分子化學組　　聯絡人：劉建宏
電話：03-4712201#358198</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫目的係以新穎連續流微通道反應器為基礎，建立合成 HTPB 膠燃料關鍵製程技術，未來國內可自主生產 HTPB 原料，免除外購 HTPB 常因國際情勢及輸出許可等問題使武器系統開發受到箝制，除品質可以掌握外，也減少生產時因頻繁換料衍生出的重複驗證資源；因此為掌握國防關鍵性原料與技術以達到國防自主之目標，急需重啟建立 HTPB 國內自製之能量，並以每年可產製 200 公斤純化後之合格品為目標。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構

112-115 年「國防先進科技研究計畫-以連續流微通道反應器開發 HTPB 合成技術」研發項目分為合成技術開發、微通道設備建立、分離純化與廢溶劑回收技術研析、縮尺發動機驗證等。主要目的為國內自主開發 HTPB 膠燃料合成技術。

在分工方面，中科院主要負責本計畫監督與發動機驗證，學研單位則是協助建立連續流微通道反應器、利用新技術開發 HTPB 膠燃料合成技術、建立分離純化與廢溶劑回收能量。規劃研發期程為 4 年(112~115 年)，112 年進行先期技術研析；113 年進行分離純化與廢溶劑回收技術研析；114 年進行先導 HTPB 量產設置與試產；115 年則執行 HTPB 合格品與縮尺發動機測試等工作。各議題之間之關係如下圖所示。

HTPB合成與檢測
微通道反應器建置
先期技術研析
分離純化與廢溶劑回收技術研析
純化/回收設備建置
純化/回收製程開發
HTPB合成量產製程開發
純化/回收量產製程開發
先導HTPB量產設置與試產
HTPB合格品與縮尺發動機測試
發動機測試
HTPB合格品

本構想書計畫架構圖

上圖議題之研究內容條列式工項如下：</td></tr>
</table>

1.中科院

112 年先期技術研析：

1-1 協助與監督學研單位建立連續流微通道反應器設備：
提供學研單位研發需求資料並定期實際現場監督掌握研發期程。

113 分離純化與廢溶劑回收技術研析：

2-1 協助與監督學研單位建立此新技術之分離純化與廢溶劑回收設備：
提供學研單位研發需求資料並定期實際現場監督掌握研發期程。

114 年先導 HTPB 量產設置與試產：

3-1 協助與監督學研單位建立量產製程研究：
提供學研單位研發需求資料並定期實際現場監督掌握研發期程。

115 年縮尺發動機測試：

4-1 進行二種推進劑配方研製與 3S 縮尺發動機測試：
學研單位提供自製合格品料源，中科院推研廠進行二種推進劑配方研製與 3S 縮尺發動機測試。

2.學研單位

112 年先期技術研析：

1-1 建立連續流微通道反應器設備：
學研單位需建置微通道反應器等相關設備並於結案後移交中科院。

1-2 建立微通道技術 HTPB 合成方法與分析檢測能量：
中科院提供批式反應器聚合相關技術資料，協助學研單位利用新設備重新在國內建立新穎 HTPB 聚合技術與分析能量。

113 年分離純化與廢溶劑回收技術研析：

2-1 建立微通道技術之分離純化與廢溶劑回收設備：
學研單位需建置微通道反應器產物之分離純化與廢溶劑回收設備並於結案後移交中科院。

2-2 建立副產物處理、產品純化、溶劑回收製程參數探討及製程設計：
中科院提供相關技術資料，協助學研單位利用新設備新技術重新在國內建立新穎 HTPB 副產物處理、產品純化、溶劑回收製程參數探討及製程設計。

114 年先導 HTPB 量產設置與試產：

3-1 量產製程研究：
學研單位研發 HTPB 量產製程(公噸/年)技術。

3-2 量產製程之副產品分離、產品純化、廢水/廢氣處理及溶劑回收再利用製程：

學研單位利用新設備及新技術重新在國內建立新穎 HTPB 量產製程之副產物處理、產品純化、溶劑回收製程參數探討及製程設計。

115 年 HTPB 合格品與縮尺發動機測試：
4-1 完成量產級合格品製程能量與提供合格產品：
學研單位完成 200 公斤/年合格品製程能量與提供 200 公斤 HTPB 合格產品，並符合下述之「HTPB 合格標準表」允收規範。

二、成果產出及需求規格

1.需求規格訂定依據
產出之微通道反應器設備是參考康寧公司出版的「高通量微通道反應器-從實驗室工藝研發到大規模工業化生產」文中所列之「康寧低流量微通道玻璃反應器」規格制訂(參考規格)。HTPB規格則是參考美規MIL-H-85497與DPA property ranges規範。

2.需求來源/未來應用場景
可替代本院各式火箭推進劑配方之HTPB，除了本院可自行掌握原料品質外，亦可免去外購HTPB所衍伸之E/L申請困難、原料品質不穩定、物價波動等不確定風險。

3. 成果產出及需求規格表

112年

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	研究報告	報告	1	微通道反應器合成HTPB 方法與分析檢測相關內容。

113年

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	研究報告	報告	1	副產物處理、產品純化及溶劑回收等製程。

114年

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格

1	學研單位	研發報告	報告	1	包含量產合成及量產製程純化技術。

115年

項次	**產製單位**	**產出品項**	**類別** (報告、硬體、軟體)	**數量**	**需求規格**
1	學研單位	HTPB	產品	200 kg	產品檢測符合羥基端聚丁二烯(HTPB)合格標準表並通過3S 發動機驗證。

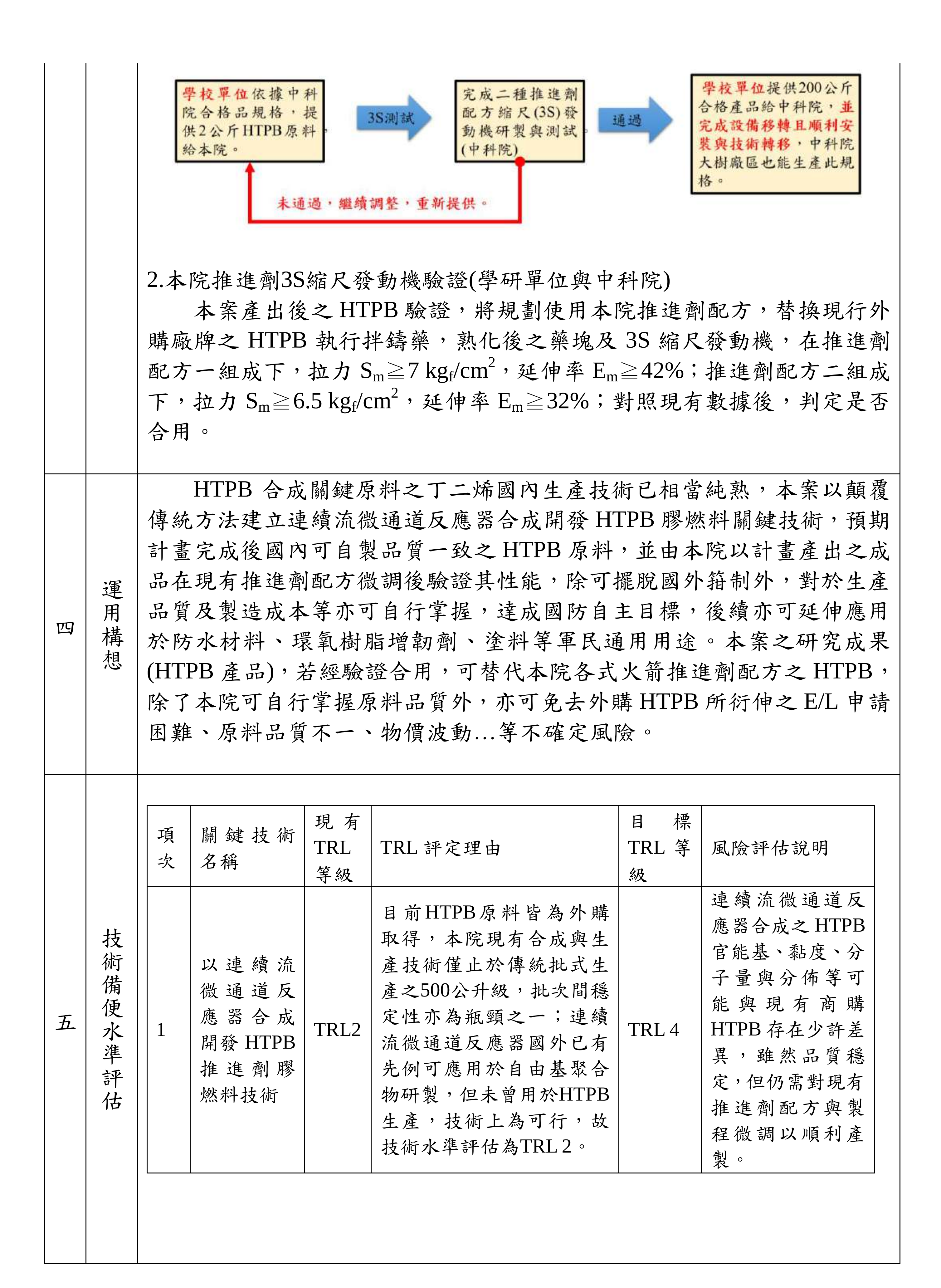
三、驗測方式規劃

1. HTPB合格品(學研單位)

以第三方檢驗單位進行產品檢測，符合下列「HTPB合格標準表」並通過3S發動機測試(下圖)才能驗收合格。

HTPB合格標準表

項次	檢測項目	合格標準
1	Hydroxyl value (OH 值)	0.072~0.080 eq/100g
2	Moisture (水份)	≦ 0.1%
3	Peroxide (過氧化物)	≦ 0.05%
4	Viscosity (黏度, 25℃）	40~70 ps
5	數均分子量 (GPC, M_n)	2,750~3,430
6	峰位分子量 (GPC, M_p)	提供檢測結果
7	Polydispersity index (M_w/M_n)	≦ 2.1
8	Hydroxyl functionality	2.2~2.4
9	Unsaturation type (1,2 Vinyl，未飽合型) wt%	≦ 30%
10	須提供 HTPB 1 級、2 級羥基之比例與羥基類型相對含量	
11	Antioxidant	≧ 0.1%
12	Specific gravity (@ 25℃)	0.87~0.92



2.本院推進劑3S縮尺發動機驗證(學研單位與中科院)

本案產出後之HTPB驗證，將規劃使用本院推進劑配方，替換現行外購廠牌之HTPB執行拌鑄藥，熟化後之藥塊及3S縮尺發動機，在推進劑配方一組成下，拉力 $S_m \geqq 7\ kg_f/cm^2$，延伸率 $E_m \geqq 42\%$；推進劑配方二組成下，拉力 $S_m \geqq 6.5\ kg_f/cm^2$，延伸率 $E_m \geqq 32\%$；對照現有數據後，判定是否合用。

四 運用構想

HTPB合成關鍵原料之丁二烯國內生產技術已相當純熟，本案以顛覆傳統方法建立連續流微通道反應器合成開發HTPB膠燃料關鍵技術，預期計畫完成後國內可自製品質一致之HTPB原料，並由本院以計畫產出之成品在現有推進劑配方微調後驗證其性能，除可擺脫國外箝制外，對於生產品質及製造成本等亦可自行掌握，達成國防自主目標，後續亦可延伸應用於防水材料、環氧樹脂增韌劑、塗料等軍民通用用途。本案之研究成果(HTPB產品)，若經驗證合用，可替代本院各式火箭推進劑配方之HTPB，除了本院可自行掌握原料品質外，亦可免去外購HTPB所衍伸之E/L申請困難、原料品質不一、物價波動…等不確定風險。

五 技術備便水準評估

項次	關鍵技術名稱	現有TRL等級	TRL評定理由	目標TRL等級	風險評估說明
1	以連續流微通道反應器合成開發HTPB推進劑膠燃料技術	TRL2	目前HTPB原料皆為外購取得，本院現有合成與生產技術僅止於傳統批式生產之500公升級，批次間穩定性亦為瓶頸之一；連續流微通道反應器國外已有先例可應用於自由基聚合物研製，但未曾用於HTPB生產，技術上為可行，故技術水準評估為TRL 2。	TRL 4	連續流微通道反應器合成之HTPB官能基、黏度、分子量與分佈等可能與現有商購HTPB存在少許差異，雖然品質穩定，但仍需對現有推進劑配方與製程微調以順利產製。

六	期程工項

一、議題分工及期程規劃

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
先期技術研析	協助與監督	中科院	112	協助與監督學研單位建立連續流微通道反應器設備
	HTPB製程開發	學研單位	112	1.建立連續流微通道反應器設備 2.建立微通道技術HTPB合成方法與分析檢測能量
分離純化與廢溶劑回收技術研析	協助與監督	中科院	113	協助與監督學研單位建立此新技術之分離純化與廢溶劑回收設備
	分離純化製程開發	學研單位	113	1.建立微通道技術之分離純化與廢溶劑回收設備 2.建立副產物處理、產品純化、溶劑回收製程參數探討
先導HTPB設置與試產	協助與監督	中科院	114	協助與監督學研單位建立量產製程研究
	量產製程開發	學研單位	114	HTPB量產開發及量產級副產品分離、產品純化、廢水處理及溶劑回收再利用製程
縮尺發動機測試	發動機測試	中科院	115	進行二種推進劑配方縮尺(3S)發動機研製與測試
	合格HTPB產出	學研單位	115	1.產製200公斤純化後HTPB合格品 2.完成200公斤/年HTPB合格品之全製程

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
先期技術研析			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
分離純化與廢溶劑回收技術研析			
總計			

114 年

金額單位：仟元

研究議題＼承接單位	中科院	學研單位	小計
先導 HTPB 量產設置與試產			
總計			

115 年

金額單位：仟元

研究議題＼承接單位	中科院	學研單位	小計
縮尺發動機測試			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

補助項目＼執行年次	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		第四年 (115年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)									
a. 研究人力費									
b. 材料、耗材及雜項費用									
c. 差旅費									
研究設備費									
管理費									
合計									

補充說明：此案結束時，所有投資設備需移至中科院與協助建置，歸屬本院財產。

二、重要研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明 (含用途、數量或備註內容)	概估金額	建置場域	結案後設備規劃
CORNING Lab Reactor 微通道反應器 (112年)	數量：1台 用途：合成HTPB 備註：公噸/年產 溫度-20°C~200°C 進口壓力0~18 kg/cm^{2}		執行中：學校 結案後：中科院	於中科院建置能量，生產HTPB。
萃取機 (113年)	數量：1套 用途：產品萃取分離純化 備註：工業級容量		執行中：學校 結案後：中科院	於中科院建置能量，生產HTPB。

濃縮機 (113年)	數量：1套 用途：產品濃縮(溶劑蒸發) 備註：工業級容量		執行中：學校 結案後：中科院	於中科院建置能量，生產HTPB。
防爆溶劑回收機 (寬寶A200EX) (113年)	數量：1台 用途：廢溶劑回收使用 備註：225L		執行中：學校 結案後：中科院	於中科院建置能量，生產HTPB。
低溫冷凍設備 (113年)	數量：1套 用途：製程保溫使用 備註：-40°C，工業級容量		執行中：學校 結案後：中科院	於中科院建置能量，生產HTPB。

八	預期成果	一、完成微通道反應器HTPB合成方法與實驗流程建立(學研單位)。 二、完成微通道反應器HTPB分析檢測能量建立(學研單位)。 三、完成製程參數探討、製程設計及產品品質分析(學研單位)。 四、完成副產品分離、產品純化之後處理製程(學研單位)。 五、完成廢水處理製程(學研單位)。 六、完成廢溶劑回收製程(學研單位)。 七、完成 200 公斤/年之 HTPB 合格產品全製程，提交 200 公斤之 HTPB 合格產品，並符合中科院允收規範(學研單位)。 八、完成本院推進劑之 3S 縮尺發動機驗證(中科院)。

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：超寬能隙鑽石半導體材料開發</td><td>計畫期程：112-115 年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：　　　　　　仟元</td><td>研究領域：03 材料工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：材電所高溫組　　聯絡人：柯政榮　　電話：03-4712201#359621</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">委託學單位開發微波電漿化學氣相沉積法(Microwave Plasma Chemical vapor deposition; MPCVD)，以同質長晶製備鑽石單晶材料。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
研發項目分為議題一單晶薄膜鑽石長晶技術開發以及性能評估測試、議題二小尺寸 Dummy 級單晶鑽石基板研製、議題三高純度單晶鑽石基板研製、議題四高純度單晶鑽石晶體增厚研製等，各議題間之關係如計畫架構圖所示，議題一主要是透過微波電漿化學氣相沉積(MPCVD)嘗試針對各式材料，包括各式同質基板、反應氣體及載氣流量等，評估各式材料對於單晶薄膜鑽石長晶的影響，開發厚度≧1μm，尺寸≧4mm*4mm 的單晶薄膜鑽石。因目前國際商售鑽石基板尺寸為 4.5mm*4.5mm，厚度為 0.5mm，議題二之研究透過 MPCVD 於鑽石基板上進行同質成長，嘗試控制電漿形狀及位置，以及控制不同的反應氣體與載氣配比，評估不同條件段於單晶鑽石成長的影響，開發厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，Rocking Curve≦90 arcsec 的單晶鑽石晶體。因鑽石晶體成長時極易受到空氣中的氮元素影響，而容易造成氮摻雜，議題三可針對反應氣體及載氣種類與氣體純化作提升，除此之外，也可嘗試對反應腔體氣密的提升，評估腔體的洩漏率對於單晶鑽石基板氮含量的影響。開發厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦80arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1} 的單晶鑽石晶體。因目前國際鑽石單晶成長厚度約在 5mm，議題四如何開發較厚的鑽石晶體為主要的研究方向；而在鑽石晶體的增厚製程藉由前 3 年的研究成果進行調整，期望開發厚度≧3mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦70 arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1} 的大尺寸單晶鑽石晶體。</td></tr>
</table>

超寬能隙鑽石半導體材料開發

- 112年 單晶薄膜鑽石長晶技術開發以及性能評估測試
  - 同質基板成長單晶薄膜鑽石 (學研單位)
  - 單晶薄膜鑽石XRT檢測能量建立 (中科院)
- 113年 小尺寸Dummy級單晶鑽石基板研製
  - 同質基板單晶鑽石長晶技術建立 (學研單位)
  - 單晶鑽石晶體加工能量建立 (中科院)
- 114年 高純度單晶鑽石基板研製
  - 高純度單晶鑽石基板研製 (學研單位)
  - 單晶鑽石XRT檢測資料庫建立 (中科院)
- 115年 高純度單晶鑽石晶體增厚研製
  - 高純度單晶鑽石晶體增厚研製 (學研單位)
  - 單晶鑽石晶體切割研磨加工研製 (中科院)

計畫架構圖

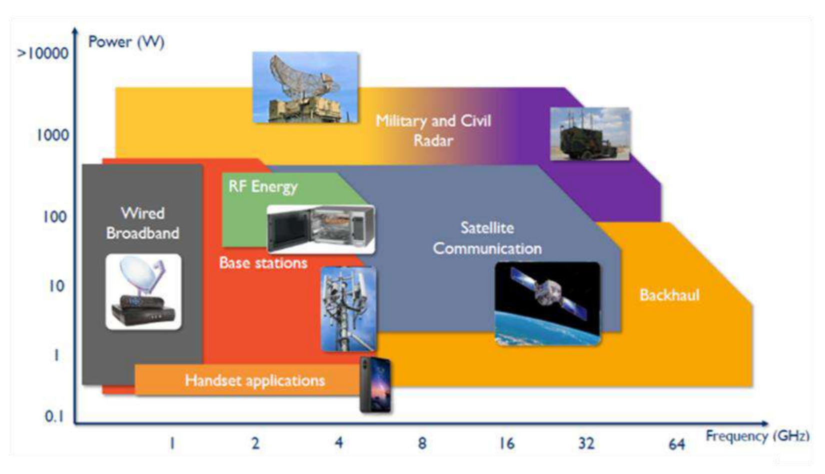
二、成果產出及需求規格

主要參考英國廠商元素6所生產之鑽石單位基板作為本案規格之依據。

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	112 期末報告	報告	1 份	厚度≧1μm，尺寸≧4mm*4mm 的單晶薄膜鑽石
2	學研單位	113 期末報告	報告	1 份	厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，Rocking Curve≦90 arcsec 的單晶鑽石晶體
3	學研單位	114 期末報告	報告	1 份	厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦80 arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1}的單

							晶鑽石晶體	
		4	學研單位	115 期末報告	報告	1 份	厚度≧3mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦70 arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1}的單晶鑽石晶體	
		5	學研單位	115 年繳交鑽石單晶基板	硬體	1 件	厚度≧0.5mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦70 arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1}的單晶鑽石晶體	
		6	中科院	市售單晶鑽石基板檢測分析報告	報告	1 份	市售單晶鑽石基板之品質分析，包含 Raman FWHM、Rocking Curve、X 光拓譜儀影像	
		7	中科院	雷射加工鑽石製程評估報告	報告	1 份	加工製程流程圖與優化參數	
		8	中科院	鑽石研磨加工製程評估報告	報告	1 份	加工製程流程圖與優化參數	
		9	中科院	全案執行期程總結	報告	1 份	包含四年學研單位與中科院的成果彙	

<table>
<tr><td></td><td></td><td>
<table><tr><td></td><td></td><td>評估報告</td><td></td><td></td><td>整與總評估報告</td></tr></table>

三、驗測方式規劃
繳交之鑽石基板，雜質含量以輝光放電質譜(GDMS)進行檢測，Rocking Curve 以 X 光繞射(XRD)進行檢測，Raman FWHM 以拉曼光譜儀進行檢測。
</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>
鑽石的導熱係數是所有已知材料中最高的，會有如此驚人的熱傳導主要是因為鑽石和一般金屬的導熱方式不同，鑽石的導熱方式和傳送聲波的方式相同。鑽石是經由聲子(振動能的量子)的移動來導熱，有許多研究是透過在基板上沉積一層高品質且平整的鑽石薄膜來提升熱導性，並應用於高功率元件。
除此之外，鑽石具有很高的電阻係數、導熱係數、崩潰電壓、電子飽和速度、以及電洞遷移率，因此在高溫高頻及高功率的電子元件應用上，鑽石基板扮演著重要角色。若能進一步將鑽石做為半導體元件的基板，除了可以比碳化矽基板更耐高溫，電子電路使用時所產生的熱量，可有效且迅速地發散出去，鑽石本身就可以發展出許多高附加價值的產品。例如在高頻環境可用於通訊用的基礎設施、通訊衛星、商用雷達(如圖七所示)。


圖七 鑽石於高頻高功率可應用的產品
</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便</td><td>目前國內並無單晶鑽石基板相關研究，相關關鍵技術如附件一。</td></tr>
</table>

	水準評估	
六	期程工項	一、議題分工及期程規劃 在分工方面，中科院主要負責 XRT 缺陷分析與檢測、鑽石晶體加工製作，學界則是協助 MPCVD 鑽石長晶開發製作。

一、議題分工及期程規劃

在分工方面，中科院主要負責 XRT 缺陷分析與檢測、鑽石晶體加工製作，學界則是協助 MPCVD 鑽石長晶開發製作。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一 單晶薄膜鑽石長晶技術開發以及性能評估測試	同質基板成長單晶薄膜鑽石	學研單位	112	透過微波電漿化學氣相沉積(MPCVD)嘗試針對各式材料，包括各式同質基板、反應氣體及載氣流量等，評估各式材料對於單晶薄膜鑽石長晶的影響，開發厚度≧1µm，尺寸≧4mm*4mm的單晶薄膜鑽石。
	單晶薄膜鑽石XRT檢測能量建立	中科院	112	透過X光拓譜儀(XRT)分析，市售及學研單位的鑽石基板的缺陷分析，建立XRT的檢測鑽石基板的技術。
議題二 小尺寸Dummy級單晶鑽石基板研製	同質基板單晶鑽石長晶技術建立	學研單位	113	透過MPCVD於鑽石基板上進行同質成長，嘗試控制電漿形狀及位置，以及控制不同的反應氣體與載氣配比，評估不同條件段於單晶鑽石成長的影響，開發厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，Rocking Curve≦90 arcsec的單晶鑽石晶體。

				單晶鑽石晶體加工能量建立	中科院	113	建立鑽石晶體加工能量，透過雷射加工技術進行鑽石單晶材料的切割製程開發。	
			議題三 高純度單晶鑽石基板研製	高純度單晶鑽石基板研製	學研單位	114	針對反應氣體及載氣種類與氣體純化作提升，除此之外，也可嘗試對反應腔體氣密的提升，評估腔體的洩漏率對於單晶鑽石基板氮含量的影響。開發厚度≧1mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦80 arcsec，Raman FWHM≦4cm^{-1}的單晶鑽石晶體。	
				單晶鑽石XRT檢測資料庫建立	中科院	114	透過XRT檢測分析與統計，學研單位與市售單晶鑽石基板之缺陷差異，並回饋給學研單位使學研單位了解與市售基板之差異，以適度的調整鑽石長晶製程，並建立鑽石基板的檢測資料庫。	
			議題四 高純度單晶鑽石晶體增厚研製	高純度單晶鑽石晶體增厚研製	學研單位	115	鑽石晶體的增厚製程藉由前3年的研究成果進行調整，期望開發厚度≧3mm，尺寸≧4mm*4mm，雜質含量≦10ppm，Rocking Curve≦70 arcsec，Raman FWHM ≦4cm^{-1}的大尺寸單晶鑽石晶體。	

	單晶鑽石晶體切割、研磨加工研製	中科院	115	透過加工系統的建立，將切割後的鑽石基板建立研磨製程，以降低鑽石基板的表面粗糙度。

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
同質基板成長單晶薄膜鑽石			
單晶薄膜鑽石 XRT 檢測能量建立			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
同質基板單晶鑽石長晶技術建立			
單晶鑽石晶體加工能量建立			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
高純度單晶鑽石基板研製			
單晶鑽石 XRT 檢測資料庫建立			
總計			

115 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
高純度單晶鑽石晶體增厚研製			
單晶鑽石晶體切割、研磨加工研製			

總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 / 補助項目	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		第四年 (115年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)									
a. 研究人力費									
b. 材料、耗材及雜項費用									
c. 差旅費									
研究設備費									
管理費									
合計									

二、重要研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明 (含用途、數量或備註內容)	概估金額 (仟元)	建置場域	結案後設備規劃
鑽石加工系統/Machining System of Single Crystal Diamond	單晶鑽石雷射切割及研磨設備共1式。		中科院	後續將建立鑽石相關接續計畫持續使用。
高真空退火爐/Vacuum annealing furnace	改善鑽石單晶品質，降低殘留氫或氮濃度(溫度>1500℃，壓力≦$1*10^{-5}$mbar)，共1台。		學研單位	設備學校留用，並與學校建立長期的合作關係。

		偏光顯微鏡 /Polarizing microscope	觀察應力分布、缺陷及表面形貌，共1台。		學研單位	設備學校留用，並與學校建立長期的合作關係。
		自動研磨拋光機 /Automatic grinding and polishing machine	降低基板表面粗糙度，共1台。		學研單位	設備學校留用，並與學校建立長期的合作關係。
八	預期成果	開發高散熱的單晶鑽石基板，並將鑽石基板與磊晶元件接合，導入微波前端模組(FEM)應用之先進微波功率放大器，其輸出功率將大於 150 瓦；而在最終階段將致力開發高頻高功率模組所需之關鍵基板材料，與磊晶單位合作，開發高頻切換開關以及高頻功率放大器之微波前端模組，其輸出功率將大於 300 瓦，提供高頻高功率模組內關鍵電晶體所需。且由文獻上的研究成果得知，在相同尺寸下 GaN-on-Diamond 的功率密度是 GaN-on-SiC 的 3 倍，若高頻高功率元件改用 GaN-on-Diamond 製作，可大幅的減少收發模組的數量，使系統的體積縮小與降低系統的製作成本。				

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	微波電漿控制技術	2	本案因國內目前無相關研究，學界目前研究以鑽石薄膜為主，故 TRL 評估為 2	4	學界目前是以固定的微波電漿條件在進行鑽石薄膜的研究，但鑽石晶體在成長過程中需持續調整微波電漿的位置及形狀，需要大量分析及實驗數據驗證。
2	鑽石品質與缺陷分析技術	2	本案因國內目前相關研究較少，學界目前研究以鑽石薄膜的品質分析為主，故 TRL 評估為 2	4	目前鑽石基板的分析主要是以 XRD 及拉曼光譜進行品質分析，尚無研究單位以 X 光拓譜儀(XRT)進行缺陷分析，本案藉由本院的 XRT 針對鑽石基板的品質與缺陷分析，需要大量分析及實驗數據驗證。

3	無石墨相摻雜之純鑽石長晶技術	1	本案因國內目前相關研究較少，學界目前研究以鑽石薄膜的磊晶技術為主，故 TRL 評估為 1	3	學界目前的研究方向是以磊晶的方式進行鑽石薄膜的生長，但其研究成果中發現，其鑽石薄膜中皆有少量的石墨相存在，如何利用微波電漿控制技術，使鑽石在成長的同時又可去除石墨相的沉積，需要大量分析及實驗數據驗證。
4	鑽石長晶之低雜質濃度控制技術	1	本案因國內目前無相關研究，學界目前研究以鑽石薄膜為主，故 TRL 評估為 1	3	鑽石在長晶過程中，容易受到腔體中的雜質以及空氣中的氮所影響，導致低雜質的鑽石晶體製備不易，如何降低雜質濃度，以及如何純化反應氣體(甲烷)與載氣(氫氣)，充滿不確定性，且需要大量分析及實驗數據驗證。

5	高成長速率鑽石長晶技術	1	本案因國內目前無相關研究，學界目前研究以鑽石薄膜為主，故 TRL 評估為 1	3	在文獻中得知，若要提升鑽石的成長速率都是通入氮氣以提高鑽石的成長速率，本案預開發低雜質含量的鑽石晶體，因此無法藉由通入氮氣來提升鑽石的成長速率，高成長速率鑽石長晶技術門檻高，耗時長，且充滿不確定性，需要大量分析及實驗數據驗證其概念。
6	單晶鑽石加工技術	2	目前國內的鑽石加工技術主要是針對飾品(珠寶)進行加工製作，無針對特性晶面進行加工，故 TRL 評估為 2	4	鑽石晶體加工需考量到加工晶面的準確度，以及應力集中造成破裂的問題，鑽石加工主要是利用雷射進行割切，如何調整雷射的功率及合適切割速率，需要大量分析及實驗數據驗證其概念。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：具形狀記憶效應之高吸能多孔新穎材料開發研究</td><td>計畫期程：112-115年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：　　　　　　　　　仟元</td><td>研究領域：03材料工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：材料暨光電研究所 冶金組　聯絡人：邱元紘
電話：03-4712201#357054</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫首先需以合金設計理念模擬設計鐵基形狀記憶合金之成分配比，藉由熱示差掃描分析儀量測吸放熱反應，以探討相變化的機制，解析新型鐵基形狀記憶區間與合金析出強化相及固溶處理的析出順序，藉以掌握新型鐵基形狀記憶合金超彈性回復區間，並實際熔煉鑄造成形，藉由顯微組織觀察及機械性質檢測來進行分析，以建立具有最佳基礎物理性能及機械性能之合金成分。再以適當的合金製粉技術及粉末冶金燒結製程技術製成多孔結構，並探討及設計最佳之多孔結構狀態，再透過顯微組織觀察及機械性質檢測來進行分析，以建立具有最佳基礎物理性能及機械性能之製程，並探討多孔結構對形狀記憶鐵基金屬之性能及影響，最後透過構型設計及抗彈模擬測試分析，並實際進行抗彈複合結構組裝與實彈測試分析，評估新型具超彈性回復特性多孔鐵基形狀記憶合金抗彈與吸能效益，以建構最佳化抗彈複合結構。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
本「具形狀記憶效應之高吸能多孔新穎材料開發研究」，計畫為<u>四年期</u>之開發計畫，計畫分年研究議題、研發重點及量化指標，分述如下：
第一年：
● 高強度超彈性鐵基形狀記憶合金成份設計及熔煉技術開發：
以合金設計理念設計鐵基形狀記憶合金之成分配比，並藉由熱示差掃描分析儀量測吸放熱反應，以探討相變化的機制，解析新型鐵基形狀記憶區間與合金析出強化相及固溶處理的析出順序，藉以掌握新型鐵基形狀記憶合金超彈性回復區間，並建立基礎物理性能及機械性能。
● 鐵基形狀記憶塊材之壓縮強度≥500 MPa、回彈性≥5 %、抗拉強度≥1000 MPa、降伏強度≥800 MPa。
第二年：</td></tr>
</table>

- 高強度超彈性鐵基形狀記憶合金粉末化及燒結技術開發：
  承第一年研發成果持續進行高強度超彈性鐵基形狀記憶合金成份優化，並利用適當之合金粉末化及粉末冶金繞結製程技術進行步提升合金之機械性能，並建立完整之合金物理性能及機械性能資料庫。
- 鐵基形狀記憶塊材之壓縮強度≥800 Mpa、回彈性≥10 %、抗拉強度≥1000 MPa、降伏強度≥800 MPa、彈性變形量(自動回復形狀記憶變形量)≥10 %、密度<8 g/cm^3、總形狀記憶變形量≥30 %。

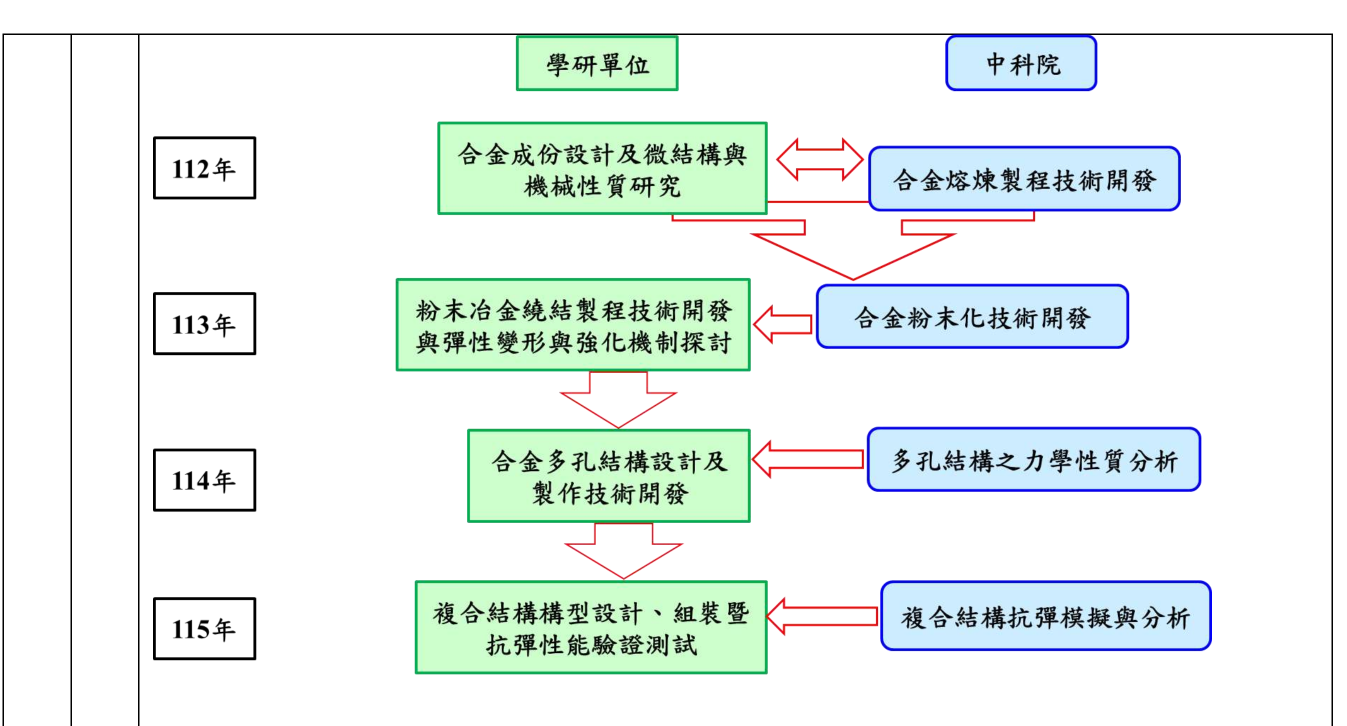
第三年：

- 多孔結構鐵基形狀記憶合金開發：
  探討與開發多孔結構之鐵基金屬製備方式，構建最適化孔洞結構之製程參數。將前兩年所開發之高強度超彈性鐵基形狀記憶合金製成多孔結構，探討多孔結構對形狀記憶鐵基金屬之性能及影響。
- 多孔結構之鐵基形狀記憶合金材料數值模型建立。
- 多孔結構之鐵基多孔材料抗衝擊力學結構模擬分析。
- 多孔結構之鐵基形狀記憶合金孔隙率≥30 %、壓縮強度≥600 MPa、回彈性≥7 %、試片尺寸≥10 cm(長)*10(寬) cm*1 cm(厚)。

第四年：

- 多孔鐵基形狀記憶合金運用於複合結構之最佳化構型設計暨抗彈性能測試分析：
  實際進行抗彈複合結構組裝與爆炸性質測試與分析，評估新型具超彈性回復特性多孔鐵基形狀記憶合金抗彈與吸能效益，以建構最佳化抗彈複合結構。
- 複合結構抗彈板之結構最佳化模擬分析。
- 多孔結構鐵基形狀記憶合金壓縮強度≥800 MPa，回彈性≥10 %。
- 複合結構抗彈板進行實彈槍擊測試後，其抗彈能力須達到 NIJ-IV 級，且面密度需小於 33 kg/m^2。

各議題間之關係如計畫架構圖所示



二、成果產出及需求規格

本案之規格訂定乃依據國際期刊文獻發表之數據及適當調整後而訂定

項次	產製單位	產出品項	類別(報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	鐵基形狀記憶塊材	硬體	1 件	壓縮強度≥500 MPa、回彈性≥5 %、抗拉強度≥1000 MPa、降伏強度≥800 MPa
2	中科院	鐵基形狀記憶塊材	硬體	1 件	壓縮強度≥800 MPa、回彈性≥10 %、抗拉強度≥1000 MPa、降伏強度≥800 MPa、彈性變形量(自動回復形狀記憶變形量)≥10 %、密度<8 g/cm^3、總形狀記憶變形量≥30 %。
3	學研單位	多孔結構鐵基形狀記憶合金材料	硬體	1 件	尺寸≥10 cm(長)*10 cm(寬)*1 cm(厚)，孔洞結構孔隙率≥30 %，壓縮強度≥800 MPa，回彈性≥10 %
4	學研單位	抗彈複合模組	硬體	1 件	面密度小於 33 kg/m^2，槍擊測試之抗彈能力達 NIJ-IV 級

<table>
<tr><td></td><td></td><td>三、驗測方式規劃
1. 多孔結構鐵基形狀記憶合金材料：尺寸≥10 cm(長)*10 cm(寬)*1 cm(厚)，孔洞結構孔隙率≥30 %，壓縮強度≥800 MPa，回彈性≥10 %，以具有 TAF 認證之檢測單位檢驗其性質。
2. 抗彈複合模組：模組面密度需小於 33 kg/m^2，並由國內槍擊測試彈道實驗室進行測試，槍擊測試之抗彈能力達 NIJ-IV 級。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本研究主要開發一「具形狀記憶效應之高吸能多孔新穎材料」，運用其新型鐵基形狀記憶合金智能材料之高強度、高彈性變形(自我回復)及形狀記憶效應，結合多孔結構之輕量化及高吸能特性，進而複合強化整體結構，將顯著提升載具所承受的壓力，開發此一新型兼具輕量化/高強度/高抗彈/高抗爆/高抗震及可主動或被動式之新型智能性材料，進而大幅提升機動性外，可廣泛應用於國防新型戰車及其他戰鬥載具之應用領域，戰甲車底盤、輪甲車輪胎/避震器、抗彈複合裝甲、彈藥庫房等軍式設施之防爆門等，亦可因應未來發展新式戰甲車輛、新型無人載具、軍事防護設施及太空科技領域等合金材料需求開發。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>詳如附件「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>一、議題分工及期程規劃
<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行單位</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
<tr><td>高強度超彈性鐵基形狀記憶合金成份設計及熔煉技術開發</td><td>合金成份設計及微結構與機械性質研究</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>由學研單位進行合金成分設計，挑選數組可行的成分進行合金配料，並以實驗室級之設備進行試熔煉成小試片，再以小試片進行微結構與機械性質分析及研究，並從中調整合金成分</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

				合金熔煉製程技術開發	中科院	112	中科院以試量產級之設備將學研單位設計及分析較佳之合金成分進行熔煉成較大尺寸之試片，再交由學研單位進行微結構與機械性質分析及研究，再從中調整合金成分以達到性質最佳化之合金成分	
			高強度超彈性鐵基形狀記憶合金粉末化及燒結技術開發	合金粉末化技術開發	中科院	113	中科院以112年之性質最佳化之合金成分，以合金粉末技術將之製成合金粉末	
				粉末冶金繞結製程技術開發與彈性變形與強化機制探討	學研單位	113	將中科院製成之合金粉末燒結成型並開發其技術，同時以為組織觀察及機械性質分析來探討其彈性變形及強化機制	
			多孔結構鐵基形狀記憶合金開發	合金多孔結構設計及製作技術開發	學研單位	114	以燒結或鑄造的方式將合金製成多孔結構，並開發其製作技術	
				多孔結構之力學性質分析	中科院	114	以結構模擬方式來分析及探討多孔結構的力學性質，並從中找尋最佳孔洞設計及比例	
			多孔鐵基形狀記憶合金運用於複合結構之最佳化構型設計暨抗彈性能測試分析	複合結構抗彈模擬與分析	中科院	115	以抗彈模擬分析來探討最佳之抗彈複合結構之構型設計	
				複合結構構型設計、組裝暨抗彈性能驗證測	學研單位	115	將中科院模擬之結果並實際組裝成測試板，並進行槍擊測試分析	

	試			

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
合金成份設計及微結構與機械性質研究			
合金熔煉製程技術開發			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
合金粉末化技術開發			
粉末冶金繞結製程技術開發與彈性變形與強化機制探討			
總計			

114 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
合金多孔結構設計及製作技術開發			
多孔結構之力學性質分析			
總計			

115 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
複合結構抗彈模擬與分析			
複合結構構型設計、組裝暨抗彈性能驗證測試			
總計			

七　成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 / 補助項目	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		第四年 (115年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)									
a. 研究人力費									
b. 材料、耗材及雜項費用									
c. 差旅費									
研究設備費									
管理費									
合計									

二、重要研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明 （含用途、數量或備註內容）	概估金額 （仟元）	建置場域	結案後設備規劃
燒結爐	實驗型粉末冶金燒結用		學研單位	設備建置於校方並持續投入研究
衝擊試驗機	進行合金試片衝擊試驗檢測用		學研單位	設備建置於校方並持續投入研究

八　預期成果

本案將藉由四年期計畫之執行完成一突破式具超彈性形狀記憶效應之多孔新穎材料的開發，計畫全程預計可達成多孔結構鐵基形狀記憶合金之壓縮強度$\geq$800 MPa，回彈性$\geq$10 %，其試片尺寸$\geq$10 cm(長)*10 cm(寬)*1 cm(厚)，孔洞結構孔隙率$\geq$30 %，並製成複合結構抗彈板以驗證，複合結構抗彈板面密度需小於 33 kg/m^2，其槍擊測試之抗彈能力可達到 NIJ-IV 級，以期能成功將此智能材料導入軍武防護系統，提升我國自主防衛能量。

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	具形狀記憶效應之高吸能多孔新穎材料開發研究	1	目前尚無具備超彈性形狀記憶效應且輕量化之多孔結構鐵基金屬材料，故 TRL 評估為 1	4	多孔結構且具形狀記憶效應鐵基材料開發技術門檻高，國內外尚無相關文獻報導，需大量實驗分析驗證可行性
2					
3					
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」

構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱:新穎輕量化複合式抗爆材料與結構之開發</td><td>計畫期程：112-114年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：</td><td>研究領域：03材料工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位：材電所冶金組　　聯絡人：林佳詩　　電話：03-4712201#357057</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫整合高硬度輕質陶瓷材料、高強度鋼板、泡沫金屬、高強力纖維複材、吸能高分子材料(如:全聚脲高分子材料)…等材料，建立可因應不同抗爆環境與爆炸威力之「輕量化複合式抗爆材料與模組」構型設計、開發與製造能量。以輕量化材料開發及模組構型設計為著眼，探討其抗爆性能，並藉由爆炸測試作為本研究產品研發主要驗證項目，以實際了解各種高強力、高硬度、高吸能材料之抗爆特性，後續將以多層材料、複合式結構方式製備輕量化複合式抗爆複材，並完整探討其微結構與力學特性，希冀可為輕量化複合式抗爆模組生產提供技術基礎。
「新穎輕量化複合式抗爆材料與模組之開發」計畫為三年期之開發計畫，研究議題與研發重點，分述如下：
(一)新穎輕量化抗爆材料開發
(A).泡沫金屬材料開發及機械性能參數建立。
(B).全聚脲高分子材料製程及機械性能參數建立。
(C).高強力纖維複材製程及機械性能參數建立。
(二)爆炸數值模擬分析能量建立
(A).高硬度陶瓷/高強度鋼板/泡沫金屬/高強力纖維複材/吸能高分子材料(如:全聚脲高分子材料)等材料數值模擬參數建立與驗證。
(B).單一材料爆炸模型建立及模擬分析。
(C).多層複合式結構爆炸模型建立及模擬分析。
(D).開放式爆炸模型建立、驗證與探討。
(E).密閉爆炸模型建立、驗證與探討。
(三)防爆複材組裝技術開發及爆炸測試
(A).開放式與密閉式環境，不同爆炸威力與爆壓..等參數建立。
(B).縮尺寸爆炸條件下(防爆複材承受爆壓與原尺寸相同)，開放式及密閉式，複合式結構抗爆模組爆炸測試驗證。</td></tr>
</table>

三	研究議題	規劃研發期程為 3 年(112~114 年)，主要以輕量化材料開發及模組構型設計為目的，探討其抗爆性能，並藉由爆炸測試作為本研究產品研發主要驗證項目，以實際了解各種高強力、高硬度、高吸能材料之抗爆特性，後續將以多層材料、複合式結構方式製備輕量化複合式抗爆複材，並完整探討其微結構與力學特性，希冀可為輕量化複合式抗爆模組生產提供技術基礎。 在分工方面，中科院主要負責輕量化複合式抗爆大尺寸組件設計/數值模擬分析/組裝，以及爆炸測試技術建立與執行，學界則是協助新材料開發、單元件的設計製作/數值模擬。 中科院及學界分工條列式工項如下： 一、中科院: 112 年: 1-1 抗 0.25Kg TNT 當量開放式與密閉式環境，爆壓量測及單一材料高強度鋼板抗爆試驗..等數據建立及模擬驗證，開放式與密閉式至少各 3 組構型。 1-2 抗 0.25Kg TNT 當量之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發，通過爆炸測試。 113 年: 2-1 抗 1Kg TNT 當量開放式與密閉式環境，爆壓量測及新穎輕量化抗爆複材試驗..等數據建立及模擬驗證，開放式與密閉式至少各 3 組構型。 2-2 抗 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)之複材模組構型模擬設計。 2-3 抗 1Kg TNT 當量之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發，通過爆炸測試。 114 年: 3-1 抗 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)開放式與密閉式環境，爆壓量測及新穎輕量化抗爆複材試驗..等數據建立及模擬驗證，開放式與密閉式至少各 2 組構型。 3-2 抗 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發，通過爆炸測試。 二、學界: 112 年: 1-1 泡沫金屬之密度≦5.5g/cm^3、吸能值≥10 MJ/m^3、理想吸能效率≥60 %、緩衝係數≥10 N · m/MJ。

1-2 全聚脲高分子材料之硬度≥40 Hs、抗拉強度≥140 kgf/cm^2、伸長率≥150%、撕裂強度≥ 90 kgf/cm。

1-3 高強力纖維複材製程及基本力學性能(抗拉強度、斷裂伸度及彈性模數…等)參數建立。

1-4 多種抗爆炸高吸能材料模擬參數建立與驗證

113 年:

2-1 泡沫金屬之密度≦3.9g/cm^3、吸能值≥20 MJ/m^3、理想吸能效率≥70%、緩衝係數≥15 N·m/MJ，試片尺寸≧長 50mm X 寬 50mm X 厚 10mm。

2-2 全聚脲高分子材料之硬度≥80 Hs、抗拉強度≥220 kgf/cm^2、伸長率≥300%、撕裂強度≥ 105 kgf/cm，尺寸≧長 300mm X 寬 300mm。

2-3 複合式纖維複材結構單元之抗壓強度參數建立，比強度相較目標對照組(控制組)提升 10%。

2-4 單元件抗爆模擬分析與驗證，以及構型優化設計。

114 年:

3-1 複合式抗爆結構材料結構單元於近距離爆炸測試條件下，其最大撓度相較目標對照組(控制組)減少 10%以上；吸收值相較目標對照組(控制組)提升 10%以上。

3-2 複合式抗爆結構材料大尺寸製程技術建立，試片尺寸≧長 200mm × 寬 200mm × 厚 30mm。

3-3 大尺寸結構材料抗爆模擬分析與驗證，以及構型優化設計。

各議題間之關係如計畫架構圖:



二、成果產出及需求規格

項次 1:A 模組通過 0.25Kg TNT 當量爆炸驗證，係依據軍警用人員防爆盾牌規格訂定；項次 2:B 模組為研發過程之測試件，1Kg TNT 當量爆炸驗證規格，主要是依據測試件測試場域規定，小於 1Kg TNT 當量爆炸威力進行產品開發；項次 3:C 模組通過一顆 105mm 彈(等同 6.4Kg TNT 當量)炸藥量爆炸驗證。項次 4～5 主要係抗爆複材單元件基本需求尺寸與機械性能訂定。

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	A 模組	硬體	1 套	通過 0.25Kg TNT 當量爆炸驗證
2	中科院	B 模組	硬體	1 套	通過 1Kg TNT 當量爆炸驗證
3	中科院	C 模組	硬體	1 套	通過 6.4Kg TNT 當量爆炸驗證
4	學研單位	泡沫金屬	硬體	1 件	密度≦3.9g/cm^3、吸能值≥20 MJ/m3、理想吸能效率≥70 %、緩衝係數≥15 N·m/MJ，試片尺寸≧長 50mm X 寬 50mm X 厚 10mm。
5	學研單位	全聚脲高分子材料	硬體	1 件	硬度≥80 Hs、抗拉強度≥220 kgf/cm^2、伸長率≥300%、撕裂強度≥ 105 kgf/cm，尺寸≧長 300mm X 寬

					300mm。
6	學研單位	複合式抗爆結構大尺寸單元件	硬體	1 件	試片尺寸≧長 200mm X 寬 200mm X 厚 30mm。

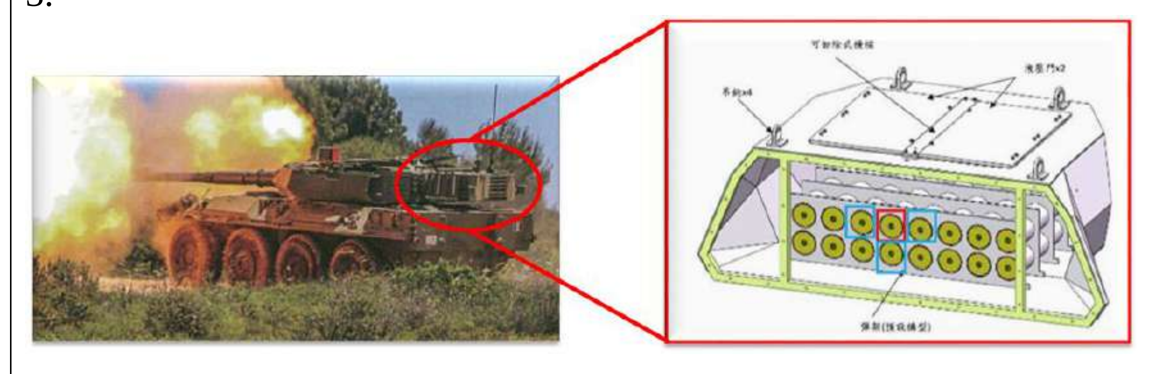
三、驗測方式規劃

項次 1～3 由中科院專業單位進行爆炸試驗，爆炸試驗測試方法:

1. 以 66 火箭彈熱焰流或 M77 小子彈...等方式，引爆艙體內 0.25、1、6.4(等同一顆 105mm 彈)Kg TNT 當量炸藥，除洩壓機構啟動外，艙體基本結構必須完好，尤其連接人員艙之防爆門。

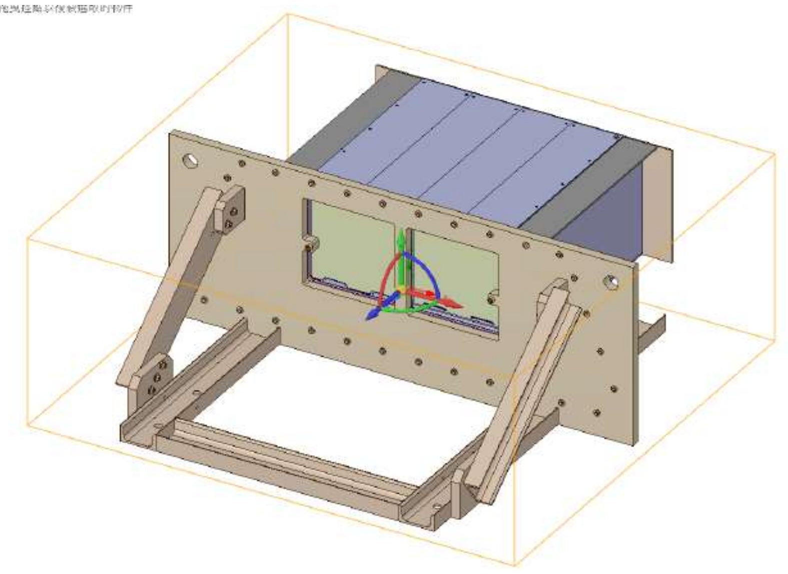
項次	產出品項	年度	抗爆等級(威力)
1	抗爆複材模組(A)	112	通過 0.25Kg TNT 當量爆炸測試
2	抗爆複材模組(B)	113	通過 1Kg TNT 當量爆炸測試
3	抗爆複材模組(C)	114	通過 6.4Kg TNT 當量爆炸測試(等同一顆 105mm 彈炸藥量)

2. 測試模組包含技術有防爆門、洩壓機構、防爆材料(如:泡沫金屬、高強度金屬材料、吸能高分子材料)、模組組裝技術、艙體構型設計..等技術開發。
3.

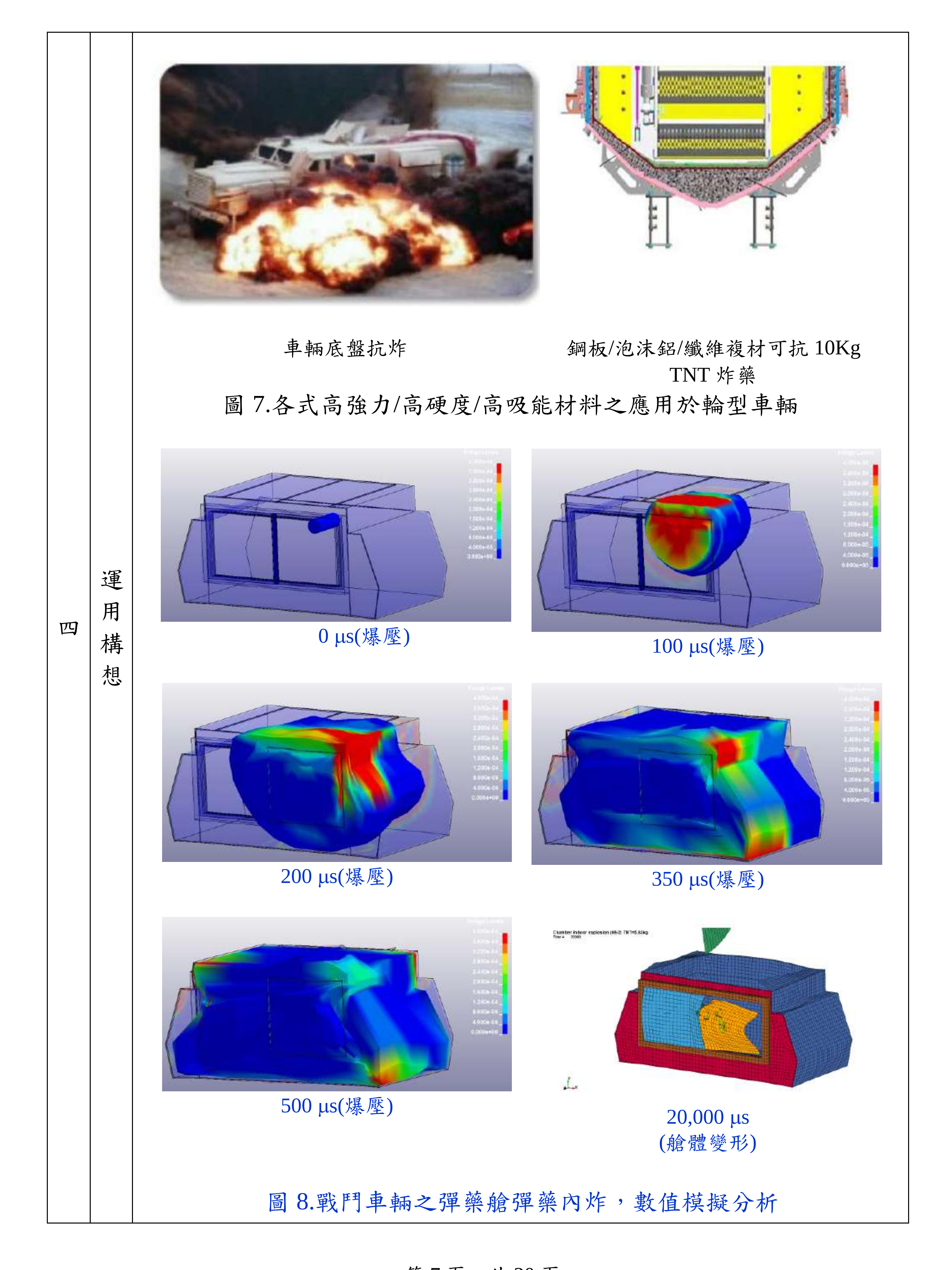


戰鬥車輛用彈藥艙(包含:防爆門、洩壓機構、防爆材料、艙體構型設計..等技術開發)

目前尚無密閉艙量測及測試經驗，以上測試方式為概念設計，實際架設

		與測試方案，待計畫執行後依實際需求完善規劃。  彈艙爆炸測試之懸吊裝置示意圖
四	運用構想	(1). 運用於**「新一代輪型車輛」**提升載具底盤及彈藥艙的抗爆防禦能力，提升戰鬥人員安全性，國外先進國家之「輪型戰鬥車輛」之底盤具有不同等級之抗爆性能，且採多種輕量化材料複合而成，不影響車輛機動性。 (2). 運用於「**戰鬥車輛用防護裝甲**」提升抗爆炸防護性能，國外先進國家之「戰鬥車輛」之底盤及「彈藥艙」防禦位置，具抵抗大威力的爆炸攻擊，尤其彈藥艙受到敵軍攻擊，恐引爆艙內彈藥，造成人員嚴重傷亡，可採高強度抗彈鋼板結合輕量化吸能材料，可有效抵擋強大的爆震波。未來本計畫開發之高硬度陶瓷/高強度鋼板/泡沫金屬/高強力纖維複材/吸能高分子材料(如：全聚脲高分子材料)等新穎輕量化材料，可衍生單一或複合使用於戰鬥車輛用抗彈防護裝甲。  圖 6. 「戰車用抗爆底盤及彈藥艙」

四 運用構想



車輛底盤抗炸

鋼板/泡沫鋁/纖維複材可抗 10Kg TNT 炸藥

圖 7.各式高強力/高硬度/高吸能材料之應用於輪型車輛

0 μs(爆壓)

100 μs(爆壓)

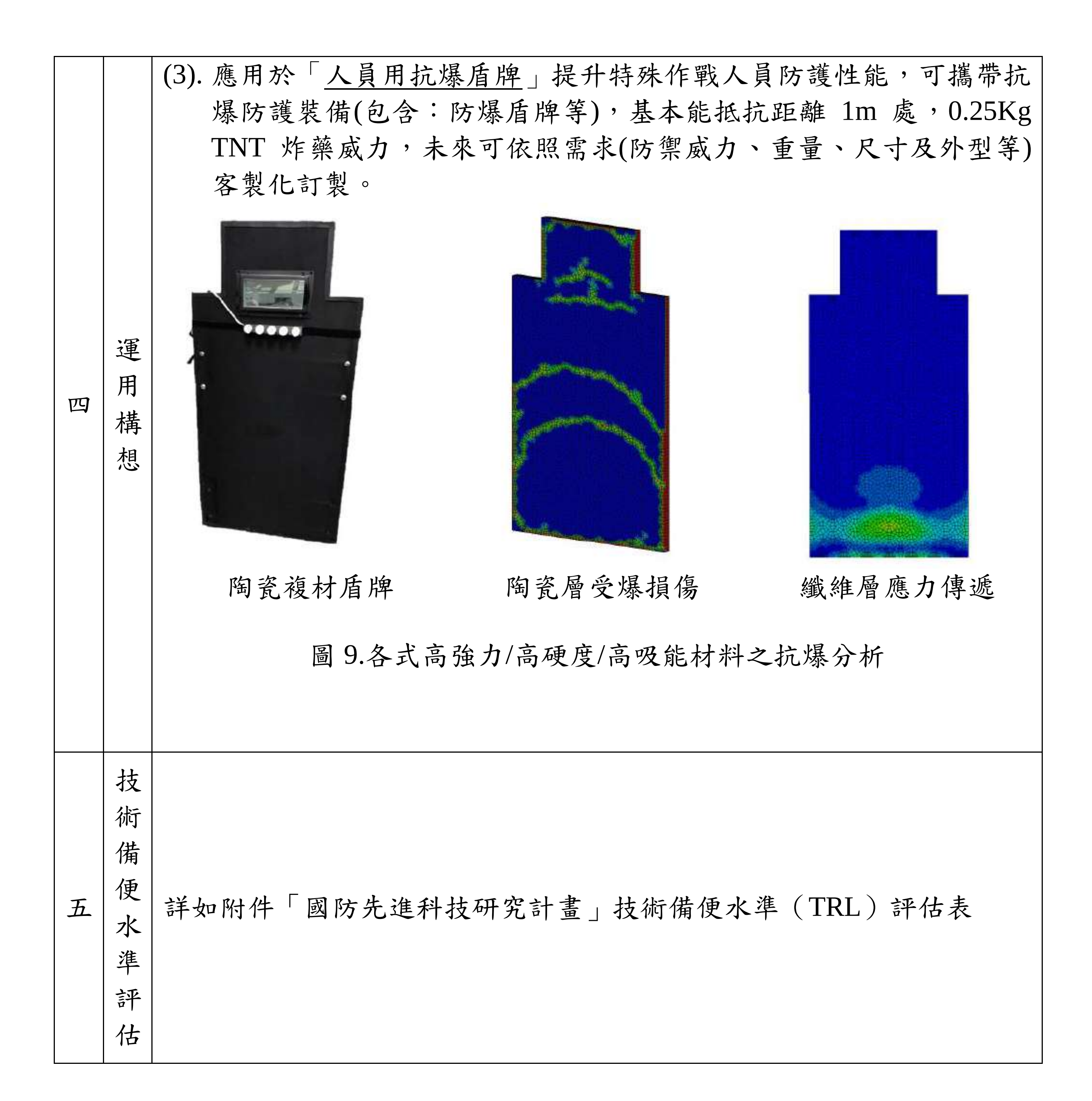
200 μs(爆壓)

350 μs(爆壓)

500 μs(爆壓)

20,000 μs
(艙體變形)

圖 8.戰鬥車輛之彈藥艙彈藥內炸，數值模擬分析

四	運用構想	(3). 應用於「<u>人員用抗爆盾牌</u>」提升特殊作戰人員防護性能，可攜帶抗爆防護裝備(包含：防爆盾牌等)，基本能抵抗距離 1m 處，0.25Kg TNT 炸藥威力，未來可依照需求(防禦威力、重量、尺寸及外型等)客製化訂製。  陶瓷複材盾牌　陶瓷層受爆損傷　纖維層應力傳遞 圖 9.各式高強力/高硬度/高吸能材料之抗爆分析
五	技術備便水準評估	詳如附件「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

六	期程工項	一、議題分工及期程規劃 在分工方面，中科院主要負責輕量化複合式抗爆大尺寸組件設計/數值模擬分析/組裝，以及爆炸測試技術建立與執行，學界則是協助新材料開發、單元件的設計製作/數值模擬。 中科院及學界分工條列式工項如下： 一、中科院: 112 年: 1-1 0.25Kg TNT 當量單一材料高強度鋼板抗爆試驗數據與能量建立。 1-2 抗 0.25Kg TNT 當量之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發。 113 年: 2-1 1Kg TNT 當量開放式與密閉式環境，新穎輕量化抗爆複材抗爆試驗數據與能量建立。 2-2 抗 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)之複材模組構型模擬設計。 2-3 抗 1Kg TNT 當量之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發。 114 年: 3-1 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)開放式與密閉式環境，新穎輕量化抗爆複材抗爆試驗數據與能量建立。 3-2 抗 6.4Kg TNT 當量(等同一顆 105mm 彈炸藥量)之複材模組構型模擬設計及防爆複材模組技術開發。 二、學界: 112 年: 1-1 泡沫金屬材料開發。 1-2 全聚脲高分子材料製程開發。 1-3 高強力纖維複材製程及基本力學性能參數建立。 1-4 多種抗爆炸高吸能材料模擬參數建立與驗證。 113 年: 2-1 泡沫金屬材料開發及大尺寸試製。 2-2 全聚脲高分子材料開發及大尺寸試製。 2-3 複合式纖維複材結構單元設計與功能測試。 2-4 單元件抗爆模擬分析與驗證，以及構型優化設計。 114 年: 3-1 複合式抗爆結構材料結構單元測試驗證。 3-2 複合式抗爆結構材料大尺寸單元件製程技術建立。 3-3 大尺寸結構材料抗爆模擬分析與驗證，以及構型優化設計。

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一：新穎輕量化抗爆材料開發	泡沫金屬材料製程技術	學研單位	112	泡沫金屬材料製程技術評估與測試分析，泡沫金屬密度≦5.5g/cm^3、吸能值≥10 MJ/m^3、理想吸能效率≥60 %、緩衝係數≥10 N·m/MJ。
			113	小尺寸泡沫金屬材料試製，泡沫金屬密度≦3.9g/cm^3、吸能值≥20 MJ/m^3、理想吸能效率≥70 %、緩衝係數≥15 N·m/MJ，試片尺寸≧長50mm X 寬50mm X 厚10mm。
			114	泡沫金屬複合材料單元件產製及測試，複合式抗爆結構材料大尺寸單元件試片試製。
	高吸能高分子及纖維複材開發	學研單位	112	高吸能高分子及纖維複材製程技術評估與測試，高吸能高分子硬度≥40 Hs、抗拉強度≥140 kgf/cm^2、伸長率≥150%、撕裂強度≥ 90 kgf/cm。
			113	高吸能高分子及纖維複材製程技術建立，高吸能高分子硬度≥80 Hs、抗拉強度≥220 kgf/cm^2、伸長率≥300%、撕裂強度≥ 105 kgf/cm，尺寸≧長300mm X寬300mm。
			114	大尺寸高吸能高分子及纖維複材製程技術建立，執行複合式抗爆結構材料大尺寸單元件試片試製。

					學研單位	112	針對學研單位產製之新穎材料及單元件之爆炸模擬參數建立工作。	
					學研單位	113	學研單位產製之新穎材料之抗爆炸高吸能金屬及高分子等材料模擬參數建立與驗證。	
					學研單位	114	學研單位產製之新穎材料製單元件抗爆模擬分析，以及單元件爆炸驗證	
			議題二:爆炸數值模擬分析能量建立	爆炸數值模擬評估及參數建立	中科院	112	執行中科院開發之抗0.25 Kg TNT當量爆炸之泡沫金屬複材模組模擬分析工作，包含: 材料參數建立及爆炸驗證。	
					中科院	113	執行中科院開發之抗1 Kg TNT當量爆炸之泡沫金屬複材模組模擬分析工作，包含: 材料參數建立及爆炸驗證。	
					中科院	114	執行中科院開發之抗6.4 Kg TNT當量(等同一顆105mm彈炸藥量)爆炸之泡沫金屬複材模組模擬分析工作，包含: 材料參數建立及爆炸驗證。	
			議題三:防爆複材組裝技術開發及爆炸測試	抗0.25、1及6.4 TNT當量防爆複材模組技術開發	中科院	112	完成抗0.25Kg TNT當量防爆複材模組技術開發與驗證。	
						113	完成抗1 Kg TNT當量防爆複材模組技術開發與驗證。	
						114	完成抗6.4 Kg TNT當量防爆複材模組技術開發與驗證。	

各式爆炸環境參數建立及驗證	中科院	112	執行0.25Kg TNT當量威力下，各式開放/密閉爆炸環境參數建立及驗證，以及大威力密閉爆炸環境參數建立及抗爆複材模組驗證。
		113	執行1 Kg TNT當量威力下，各式開放/密閉爆炸環境參數建立及驗證，以及大威力密閉爆炸環境參數建立及抗爆複材模組驗證。
		114	執行6.4 Kg TNT當量威力下，各式開放/密閉爆炸環境參數建立及驗證，以及大威力密閉爆炸環境參數建立及抗爆複材模組驗證。

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
新穎輕量化抗爆材料開發			
爆炸數值模擬分析能量建立			
防爆複材組裝技術開發及爆炸測試			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 / 研究議題	中科院	學研單位	小計
新穎輕量化抗爆材料開發			
爆炸數值模擬分析能量建立			
防爆複材組裝技術開發及爆炸測試			
總計			

114 年

金額單位：仟元

研究議題＼承接單位	中科院	學研單位	小計
新穎輕量化抗爆材料開發			
爆炸數值模擬分析能量建立			
防爆複材組裝技術開發及爆炸測試			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

補助項目＼執行年次	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)							
a. 研究人力費							
b. 材料、耗材及雜項費用							
c. 差旅費							
研究設備費							
管理費							
合計							

二、重要研究設備說明

設備名稱 (中文/英文)	說明 (含用途、數量或備註內容)	概估金額 (仟元)	建置場域	結案後設備規劃
聚脲噴塗設備	大尺寸高分子材料噴塗設備1台		學研單位	學研單位持續投入研發工作。

八	預期成果	輕量化是研究防護材料者不斷追求的目標，在同樣的防護能力下，輕量化非但可以節省材料，人員或車輛的機動性也將大幅提升。利用高硬度陶瓷/高強度鋼板/泡沫金屬/高強力纖維複材/吸能高分子材料等抗爆材料，具備高強度與高吸能之特點，將其特性截長補短，製成新穎輕量化複合式抗爆材料與模組，則其抗爆性能將可大幅提升。本技術未來可在各式戰鬥車輛、飛彈陣地、彈藥庫及飛機等軍事武器系統有著廣泛的應用前景，另新穎輕量化複合式抗爆材料與模組亦可用於人員防爆裝備，保障第一線作戰人員安全。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	新穎輕量化複合式抗爆複材	1	目前尚無具新穎輕量化抗爆材料技術能力，以及其機械性能及抗爆特性，故 TRL 評估為 1。	4	結合高硬度陶瓷/高強度鋼板/泡沫金屬/高強力纖維複材/吸能高分子材料(如:全聚脲高分子材料)等抗爆材料，相關材料開發技術門檻高，國內外尚無相關文獻或相關研究，需大量實驗分析驗證及可行性。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

（國家中山科學研究院）112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：應用於多輸入多輸出雷達系統之資訊融合演算法設計與驗證(1/3)			計畫期程：112-114 年
全期經費額度：			研究領域：電子工程
提案單位：雷揚計畫系統工程組　　聯絡人：莊皓庭　　電話：03-4712201#355579			
項次	項目	研究內容	
二	計畫目的	多輸入多輸出雷達作為一種新穎雷達體制，隨著各國陸續研究發表，現今儼然成為雷達科技發展主流。MIMO 雷達採用分散式佈署架構，各雷達處相異位置，並針對目標進行不同角度偵測，每個雷達透過空間分集效益獲得目標恆定之極大雷達截面積(Radar Cross Section, RCS)值回波信號，以增加偵獲匿蹤目標之概率，後續整合各站雷達信號及雷情資訊；面對數量多樣且複雜化的目標回波信號，雷達資訊融合處理設計難度極高；完整雷達資訊融合計算機須具備針對目標分散式回波信號進行全面性信號整合及檢測，並加以識別與幾何空間定位解算等功能，以完備整體雷達性能。為滿足 MIMO 雷達特性，本案擬開發分散式雷達必要之資訊融合演算法，以發揮雷達聯網優勢，提升整體雷達偵測性能。	
三	研究議題	一、計畫架構 本計畫「應用於多輸入多輸出雷達系統之資訊融合演算法設計與驗證」規劃 3 年完成演算法開發並應用於多發多收分散式天線架構上，利用接收天線接收多個目標資訊執行目標關聯及真實位置校正，以達到多重資料比對增加目標清晰度。	

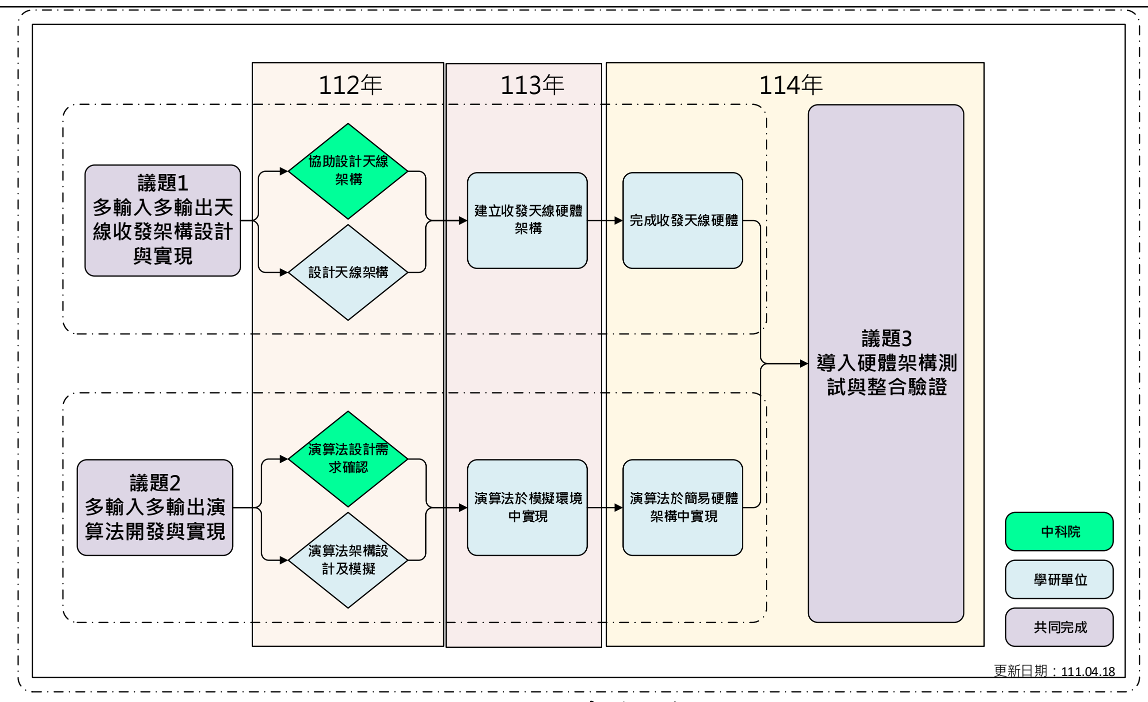


圖 1、計畫架構圖

議題 1：多輸入多輸出天線收發架構設計與實現：

(1) 由中科院與校方研討分散式收發架構，進行設計及模擬研析，並適時考量仿真佈放環境(如：建築物、天線塔台等)，建立多輸入多輸出收發場景，進而提供演算法設計依據，驗證演算法之可行性。架構相關參數如下：

天線型式	收發天線數量	環境考量	頻段
指向性天線	M╳N(M、N≧2)	Multipath、Clutter	S-Band

(2) 經各階段審查後，依確立之收發架構，進行天線硬體架構開發，並完成收發天線硬體產出。

議題 2：多輸入多輸出演算法開發與實現：

(1) 依研討之收發架構，考量各接收天線解算之目標方位及距離，並依空間域考量目標融合之可行性，進行資訊融合演算法研討，經蒐集相關文獻，與各演算法比較後提出最佳設計方案。

(2) 學研單位針對研討之最佳設計方案，進行資訊融合演算法開發，並考量收發天線數量不定之演算法則，建立本資訊融合演算法可適應不同的收發場景，並以可偵測離地表 30 公尺之小型無人機(RCS=0.1m^2)為首要目標。

(3) 進行多輸入多輸出架構及資訊融合演算法實現，初步規劃應用於 2╳2 之收發天線架構，並考量測試便利性，以較低功率之發射模組，依測試結果調整演算法運算複雜度，並檢討調整天線數量，以增加演算法之適應性。

議題 3：導入硬體架構測試與整合驗證：

(1) 於規劃之測試環境(如圖 2 所示)導入相關硬體架構驗證該演算法開發

成果，並持續修正以達系統最佳化。

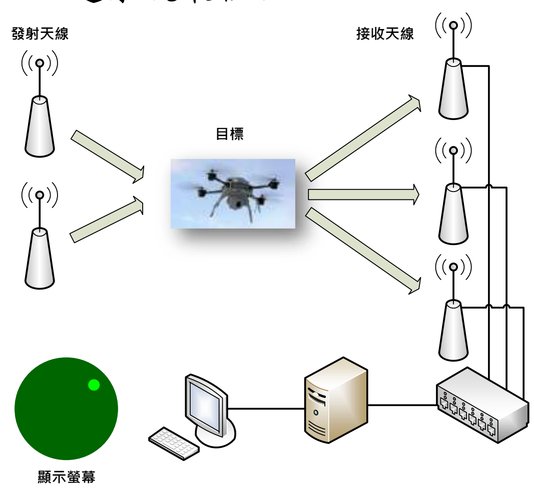


圖 2、測試環境架構圖

(2) 以最佳化後之演算法驗證偵測離地表 30 公尺之小型無人機($RCS=0.1m^2$)並比對該無人機 GPS 位置。

(3) 本案小型無人機擬由學研單位採購無人空拍機並貼附金屬反射片調整其 RCS 可達 $0.1m^2$。

二、成果產出及需求規格

本案需求規格依偵蒐 1 公里目標($RCS=0.1m^2$)之場景，定義如下：

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	學研單位	收發天線雛型	硬體	6 套	波段：S Band 天線增益≧10dBi 天線型式：指向性
2	學研單位	資訊融合演算法	軟體	1 套	套用至硬體架構後，可偵測離地表 30 公尺距離 1 公里之小型無人機($RCS=0.1m^2$)並比對該無人機 GPS 位置，與收發天線徑向距離誤差≦10 公尺，角度誤差≦1

<table>
<tr><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>度。</td></tr>
</table>
三、驗測方式規劃
本計畫驗測方式詳如研究議題章節，議題3內容所述。
</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本計畫執行之MIMO雷達因分散式主動天線輻射量較低，且被動接收端天線不會發射輻射，系統架構不易被反輻射飛彈偵蒐；即使失去部分發射天線對系統的性能影響也不大，可即時填補各陣地作戰目獲需求，建立第二道匿蹤目標防護網，增加我方戰力存活率。MIMO 雷達可提供最佳偵測匿蹤目標效果，在遠程發現來襲之匿蹤或RCS極小威脅目標。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>詳請見後方TRL評估表。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>
一、 議題分工及期程規劃
在分工方面，中科院主要負責硬體架構設計、硬體設計製作，學界則是負責演算法開發製作、協助硬體的設計製作。
<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行單位</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
<tr><td rowspan="4">議題1：多輸入多輸出天線收發架構設計與實現</td><td>設計多輸入多輸出分散式天線架構</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>針對天線硬體需求進行設計，確認硬體細部規格。</td></tr>
<tr><td>協助設計天線架構</td><td>中科院</td><td>112</td><td>與學研單位研議天線架構相關議題，並協助學研單位進行天線架構設計。</td></tr>
<tr><td>建立收發天線硬體架構</td><td>學研單位</td><td>113</td><td>依112年度完成的天線架構設計，開始建立天線硬體架構。</td></tr>
<tr><td>完成收發天線硬體</td><td>學研單位</td><td>114</td><td>1. 第一季預計完成設計架構所需硬體採購，包含收發射機、天線及開發板等。
2. 第二季預計完成硬體架設。</td></tr>
<tr><td>議題2：多輸入多輸出演算法</td><td>演算法架構設計與模擬</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>1.執行演算法架構設計與模擬，確認模擬方式、工具及需求導入，並於第二季季末與中科院進行「初步設計審查</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

			開發與實現				會議」，檢視研析方向。 2.與中科院進行演算法邏輯及框架研討，並依研討結果完成「初步設計報告」。
				演算法設計需求確認	中科院	112	1.與學研單位就演算法設計架構及需求進行確認及研擬，並於第二季季末與學研單位進行「初步設計審查會議」，檢視該研析方向可符合中科院需求。 2.與學研單位進行演算法邏輯及框架研討，並審查學研單位提供之「初步設計報告」。
				完成軟體發展計畫書	中科院	112	中科院召開設計審查會議，經與學研單位研議後，擬定本案「軟體發展計畫書」。
					學研單位	112	配合中科院召開之設計審查會議，研議擬定本案之「軟體發展計畫書」。
				演算法設計開發與實現	學研單位	112-114	1.開發分散式資訊融合演算法，本院於各季查核演算法開發進度。 2.113 年於模擬環境中實現初步開發之演算法成果。 3.114 年於簡易硬體架構中實現演算法成果。
					中科院	112-114	1.協助學研單位進行演算法設計與開發，並於各季查核演算法開發進度。 2.於設計過程中，就天線硬體開發之情形，研討相關參數調整以精進演算法。
			議題3：導入硬體架構測試與整合驗證	測試驗證	中科院	114	協助完成之演算法導入硬體測試，依測試結果研討可精進之空間，並持續測試驗證至確認偵測目標(小型無人機)可經融合後提高目標解析度。
					學研單位	114	將開發之演算法導入中科院開發之硬體架構中進行測試驗證，並持續精進演算法至確認偵測目標(小型無人機)可經融合後提高目標解析度。

二、 議題分年經費分配表

112 年工項經費分配表

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計 (仟元)
設計多輸入多輸出分散式天線架構			
協助設計天線架構			
演算法架構設計與模擬			
演算法設計需求確認			
完成軟體發展計畫書			
演算法設計開發與實現			
總計			

113 年工項經費分配表

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計 (仟元)
建立收發天線硬體架構			
演算法設計開發與實現			
總計			

114 年工項經費分配表

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計 (仟元)
完成收發天線硬體			
演算法設計開發與實現			
測試驗證			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 補助項目	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費 (a+b+c)							
a. 研究人力費							
b. 材料、耗材及雜項費用							

c. 差旅費							
研究設備費							
管理費							
合計							

補充說明：
而本案並無重要研究設備，純採購必要射頻量測儀表，其建置場域為學校實驗室，而測試場地僅需空曠無遮蔽之環境，不須額外經費需求。

八	預期成果	本計畫開發完成後，可再導入多個發射及接收天線，並經演算法精進研改後以不同掃描週期所獲得之目標資訊進行目標資訊關聯，可得到多個目標數據融合結果，提高目標空間解析度。未來軟、硬體成熟後，應用於雷達系統中建立多層次的匿蹤目標防護網，彈性填補各戰損區之目獲需求，提升我國之整體防空預警能力。

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）

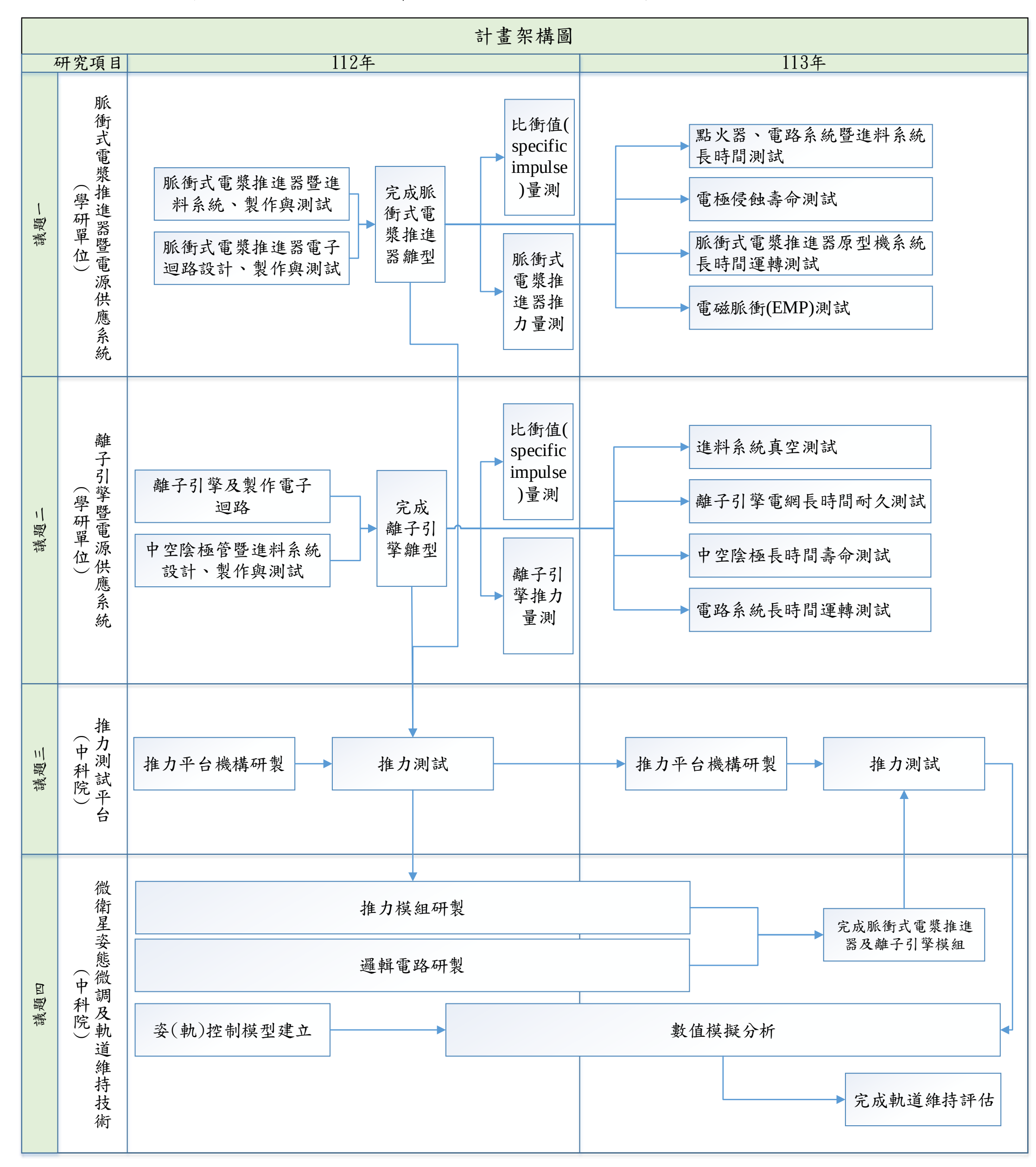
評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	分散式資訊融合技術	2	現階段依參考文獻擬定初步需求架構，可確立研究方向，故評定 TRL 等級為 2。	4	未來考量以多基雷達架構強化目標解析能力，並具分散式優點，提高作戰適應性，且防止全系統遭敵癱瘓。故本技術若開發失敗將影響多基雷達系統目標解析能力。
註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。					

國家中山科學研究院112年「國防先進科技研究計畫」構想書

<table>
<tr><td colspan="3">計畫名稱：微衛星電力推進系統應用研究</td><td>計畫期程：112-113年</td></tr>
<tr><td colspan="3">全期經費額度：　　　　　　仟元</td><td>研究領域：航太工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">提案單位:擎天計畫　聯絡人:楊順傑、徐康誠　電話:03-4712201#352245/352654</td></tr>
<tr><td>項次</td><td>項目</td><td colspan="2">研究內容</td></tr>
<tr><td>二</td><td>計畫目的</td><td colspan="2">本計畫擬藉由學校研究開發合適之電推進系統，配合中科院設計經驗與開發整合能力，發展成可用於微衛星姿態微調及軌道維持的推力系統，並設計推力測試平台，將此系統置於模擬外太空真空環境之真空艙，測試及驗證其性能，提高技術備便水準，期能實際安裝於微衛星系統，並廣泛運用。
另外，由於衛星以電推力進行姿態微調及軌道維持，以節省燃料輸出的運行模式尚未有充足的研究，故本研究計畫中亦進行微推力整合技術研發，藉以評估電推進系統的運轉壽命，以及提升微衛星使用年限之能力。</td></tr>
<tr><td>三</td><td>研究議題</td><td colspan="2">一、計畫架構
微衛星電力推進系統應用研究分為議題一「脈衝式電漿推進器暨電源供應系統」、議題二「離子引擎暨電源供應系統」、議題三「推力測試平台」及議題四「微衛星姿態微調及軌道維持技術」等4項研究議題，主要目的為開發太空微型推進技術，促進本國太空產業發展，各議題間之關係如計畫架構圖所示。
本案規劃研發期程為2年(112~113年)，112年進行「脈衝式電漿推進器暨電源供應系統」、「離子引擎暨電源供應系統」、「推力測試平台」及「微衛星姿態微調及軌道維持技術」設計及研製；113年進行「脈衝式電漿推進器」與「離子引擎」之功能及長時間運作試驗，獲得相關特性資料，並以姿(軌)控制模型進行模擬分析，以確認應用之可行性。
目前規劃112年由學研單位完成「脈衝式脈衝式電漿推進器暨電源供應系統」及「離子引擎暨電源供應系統」雛型，並進行前述電推系統雛型之比衝值及推力量測。本院進行「推力測試平台機構研製」、「推力模組研製」、「邏輯電路研製」、「姿(軌)控制模型建立」及「數值模擬分析」。
113年由學研單位持續針對電推系統雛型進行相關長時間運轉測試。本院利用學研單位提供之電推系統雛型及邏輯電路完成電力推進模組，並利用完成研製之推力平台進行電力推進模組推力測</td></tr>
</table>

試。後續分別利用電力推進模組的量測之推力值，輸入姿(軌)控制模型進行數值模擬分析，驗證是否可達到預期目標。



二、成果產出及需求規格

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、硬體、軟體)	數量	需求規格
1	中科院	推力測試平台雛型	硬體	1 組	單軸向推力量測值≧200μN
2	中科院	推力模組平台研製報告	報告	1 本	

3	中科院	邏輯電路雛型	硬體	1組	脈衝式電漿推進器之整合啟動時程，誤差≦10ms
4	中科院	邏輯電路研製報告	報告	1本	
5	中科院	電力推進器整合推力測試報告	報告	1本	
6	中科院	姿態微調及軌道維持模擬分析報告	報告	1本	模擬維持100公斤之酬載於500公里軌道運行，軌道誤差須於±4%(20公里)內。
7	學研單位	脈衝式電漿推進器雛型	硬體	5組	系統重量≦1.2 kg，推力350μN-s ±10%(如註)
8	學研單位	脈衝式電漿推進器系統設計報告	報告	1本	
9	學研單位	脈衝式電漿推進器推力量測及比衝值計算報告	報告	1本	
10	學研單位	脈衝式電漿推進器長時間測試報告	報告	1本	
11	學研單位	離子引擎系統雛型	硬體	1組	系統重量≦1.5 kg，推力9.5mN ±10%
12	學研單位	離子引擎系統設計報告	報告	1本	
13	學研單位	離子引擎推力量測及比衝值計算報告	報告	1本	
14	學研單位	離子引擎長時間測試報告	報告	1本	
註：離散(discrete)推力以每秒鐘積分值表達					

三、驗測方式規劃

(一)學研單位：脈衝式電漿推進器與離子引擎，藉由學研單位建置開發之推力量測設備進行規格檢驗，且由中科院設計開發之推力平台進行規格驗測，以確認其性能符合規格要求。

(二)中 科 院：推力平台及邏輯電路，推力平台由於推力量測範圍遠小於目前標準檢驗局轄下實驗室所建置之量測儀器，需藉由進

<table>
<tr><td>四</td><td></td><td>行電推進器性能驗證，並與學研單位量測設備所量測之數據進行交叉比對，以驗測平台符合規格要求。邏輯電路藉由整合完成之推進模組，進行推力平台之性能驗證，以驗測其性能符合規格要求。</td></tr>
<tr><td>四</td><td>運用構想</td><td>本案研發成果後續可運用於國內各式微衛星上之姿態微調及軌道維持，藉以提升微衛星於太空中之使用年限，另因其燃料利用率高、消耗量低之特性，進一步發展作為外太空探索任務之太空船推進器。</td></tr>
<tr><td>五</td><td>技術備便水準評估</td><td>一、國內大學已完成奈米衛星之微型推進器研究，發表於國際期刊，現況 TRL 為 3。後續藉由電能模組進行環境應力篩選測試、微型推進系統進行飛行接收試驗(FAT)，以及在真空艙內進行放電試驗及推力量測，故 TRL 可提升至 4。
二、本院已具備多分量平台設計及研製經驗，目前已確認「推力測試平台」技術概念，現階段 TRL 為 2，後續平台完成研製後將於測試環境(真空艙內)內進行推力量測，故 TRL 可提升為 4。
三、本院對微衛星姿態微調及軌道維持技術僅具規劃出技術概念與應用，現階段 TRL 為 2，後續進行模型設計，並利用實際物性及推力進行模擬分析，證實概念可行，故 TRL 可提升為 3。</td></tr>
<tr><td>六</td><td>期程工項</td><td>一、議題分工及期程規劃
在分工方面，中科院主要負責「推力測試平台」及「微衛星姿態微調及軌道維持技術」等 2 項研製，學界則是負責「脈衝式電漿推進器暨電源供應系統」、「離子引擎暨電源供應系統」等 2 項研製。
<table>
<tr><th>議題</th><th>工項</th><th>執行單位</th><th>執行期程</th><th>工項說明</th></tr>
<tr><td rowspan="5">議題一</td><td>脈衝式電漿推進器暨進料系統、製作與測試</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>脈衝式電漿推進器暨進料系統研究開發</td></tr>
<tr><td>脈衝式電漿推進器電子迴路設計、製作與測試</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>脈衝式電漿推進器電子迴路研究開發</td></tr>
<tr><td>比衝值 (specific impulse)量測</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>脈衝式電漿推進器比衝值性能量測計算</td></tr>
<tr><td>脈衝式電漿推進器推力量測</td><td>學研單位</td><td>112</td><td>量測脈衝式電漿推進器推力性能</td></tr>
<tr><td>點火器、電路系統暨進料系統長時間測試</td><td>學研單位</td><td>113</td><td>測試脈衝式電漿推進器點火器、電路系統暨進料系統多次點火時的性能</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

				電極侵蝕壽命測試	學研單位	113	測試脈衝式電漿推進器多次點火時的電極侵蝕使用壽命。	
				脈衝式電漿推進器原型機系統長時間運轉測試	學研單位	113	完成放電 10,000 ~ 100,000次之測試,測試脈衝式電漿推進器推進系統長時間運轉之穩定性	
				電磁脈衝(EMP)測試	學研單位	113	測試脈衝式電漿推進器推進系統防電磁脈衝能力	
			議題二	離子引擎暨電子迴路設計、製作與測試	學研單位	112	離子引擎暨電子迴路研究開發	
				中空陰極管暨進料系統設計、製作與測試	學研單位	112	中空陰極管暨進料系統研究開發	
				比衡值 (specific impulse)量測	學研單位	112	離子引擎之比衡值性能量測計算	
				離子引擎推力量測	學研單位	112	量測離子引擎推力性能	
				進料系統真空測試	學研單位	113	測試離子引擎進料系統在真空環境的性能	
				離子引擎電網長時間耐久測試	學研單位	113	完成放電100小時之測試,測試離子引擎電網長時間運作的性能	
				中空陰極長時間壽命測試	學研單位	113	測試離子引擎中空陰極長時間運作的性能	
				電路系統長時間運轉測試	學研單位	113	測試離子引擎電路系統長時間運作的性能	
			議題三	推力模組研製	中科院	112-113	陣列脈衝式電漿推進器模組組裝機構研究開發及電推進系統整合測試	
				推力平台機構研製	中科院	112-113	推力測試平台研究開發及整合測試	
				邏輯電路研製	中科院	112-113	發展整合控制邏輯電路,進行微型推進器陣列之整合控制	
				推力測試	中科院	112-113	電推進系統分類整合模式之推力測試	
			議題四	姿(軌)控制模型建立	中科院	112	姿態微調及軌道維持模擬分析建模	
				數值模擬分析	中科院	112-113	姿態微調及軌道維持模擬程式研究開發,並進行	

				系統整合及模擬分析
	姿態微調模擬測試	中科院	113	姿態微調系統整合，電推進實測與模擬分析疊代測試

二、議題分年經費分配表

112 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
脈衝式電漿推進器暨進料系統、製作與測試			
脈衝式電漿推進器電子迴路設計、製作與測試			
比衝值(specific impulse)量測			
脈衝式電漿推進器推力量測			
離子引擎暨電子迴路設計、製作與測試			
中空陰極管暨進料系統設計、製作與測試			
比衝值(specific impulse)量測			
離子引擎推力量測			
推力模組研製			
推力平台機構研製			
邏輯電路研製			
姿(軌)控制模型建立			
數值模擬分析			
總計			

113 年

金額單位：仟元

承接單位 研究議題	中科院	學研單位	小計
點火器、電路系統暨進料系統長時間測試			
電極侵蝕壽命測試			
脈衝式電漿推進器原型機系統長時間運轉測試：			
電磁脈衝(EMP)測試			
進料系統真空測試			
離子引擎電網長時間耐久測試			
中空陰極長時間壽命測試			

電路系統長時間運轉測試			
推力模組研製			
推力平台機構研製			
邏輯電路研製			
推力測試			
數值模擬分析			
姿態微調模擬測試			
總計			

七 成本分析

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 / 補助項目	第一年（112年）		第二年（113年）		全程總經費
	中科院	學研單位	中科院	學研單位	
業務費（a+b+c）					
a. 研究人力費					
b. 材料、耗材及雜項費用					
c. 差旅費					
研究設備費					
管理費					
合計					

二、重要研究設備說明

設備名稱(中文/英文)	說明（含用途、數量或備註內容）	概估金額	建置場域	結案後設備規劃
真空艙	1.模擬太空環境，以利硬品於高逼真度環境進行測試。 2.規劃籌建1座直徑**1**公尺，長1.2公尺之圓柱形真空艙體。		學研機構	歸屬學研機構管理
高速攝影機	1.用以觀察脈衝式電漿推進器內部電漿生成區域和電漿加速過程，由於從電漿生成到加速排出過程極短，故需要以高速攝影機拍攝。 2.規劃籌獲在像素1280×16(pixel)，frame rate為		學研機構	歸屬學研機構管理

	350,000fps之高速攝影機 1台。			
雷射診測系統建置	1.可以非侵入式的方式量測推進器所產生的電漿分布、電漿密度與電漿速度。 2.規劃籌獲： (1) Nd:YAG雷射1台 (2)染料雷射1台 (3)光譜儀1台		學研機構	歸屬學研機構管理

八	預期成果	1. 本計畫完成後，合作校方除可延續原有的研究，提升研究成果的技術成熟度之外，尚可藉此培育我國建立太空產業政策所需之人才。 2. 中科院藉由本項研究計畫，可與校方合作加速電推進的推力器研究，以中科院之系統工程能力，組裝為用於微衛星之姿態微調及軌道維持的推進系統，再依現有的環境測試設備完成測試環境下之功能測試，提升相關技術能力至 TRL4 的水準，為太空微型推進技術奠立基礎。

附件一

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準（TRL）評估表

項次	關鍵技術名稱	現有 TRL 等級	TRL 評定理由	目標 TRL 等級	風險評估說明
1	脈衝式電漿推進器	3	國內已有大學完成脈衝式電漿推進器分析與實驗，並證明概念可行性(參考文獻如註2)。	4	微型推進器之推力及物性，無法滿足規格。
2	離子引擎	3	國內已有大學完成離子引擎推進器分析與實驗，並證明概念可行性(參考文獻如註2)。	4	微型推進器之推力及物性，無法滿足規格。
3	推力測試平台	2	本院已具備多分量平台設計能力，並確認本項技術概念。	4	平台推力量測範圍無法滿足規格
4	微衛星姿態微調及軌道維持技術	2	本院已具備六自由度姿態控制能力及軌道計算能力，並確認本項應用方式。	3	計算模型依實際物性及推力模擬結果之誤差，無法滿足規格。

註：

1.本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。

2.Yueh-Heng Li, Jun-You Pana and Georg Herdrichb, “Design and demonstration of micro-scale vacuum cathode arc thruster with inductive energy storage circuit,” Acta Astronautica 172, PP. 33~46, 2020

國防部軍備局112年「國防先進科技研究計畫」構想書

計畫名稱:載具傳動介面安裝輔助監管暨系統安全檢測開發研究			計畫期程：112-114年
分年經費規劃：			
全期經費額度：			研究領域：控制技術
提案單位：生製中心第209廠 聯絡人：郭大榮聘員 電話：049-2781683#549362			
項次	項目	研究內容	
一	計畫背景	一、現代武器裝備載具，隨著科技發展，日趨精密與複雜，尤其在裝備生產製造與維護的過程中，能加入安裝介面輔助監管及系統安全檢測等相關隨行裝置或設備，以確保其在執行任務前或過程中，快速掌握各部位零配件狀況，使其發揮原有之設計效能，亦可避免因人為疏忽，導致裝備損壞或避免生產、製造與維護所衍生之工安等問題。 二、以裝備組裝為例，裝備須依據所屬裝配流程，安排工位進行相關組裝，工位所需零組件及工具，皆預先準備妥適。但零組件介面安裝施作，往往取決於組裝人員，是否有依標準作業程序進行組裝或施作是否到位確實，而且隨著時間累積，最終影響機械的運作穩定度及使用壽命，甚至造成意外的風險，因此透過介面安裝輔助監管系統，系統可發出警示，組裝人員可及時修正錯誤，大幅降低損壞影響的風險，並能有效的省下設備維修之費用。 三、裝備有部分零組件安裝結合位置，隨時間使用有逐漸鬆脫或磨損之情事發生，進而影響機械的運作與使用壽命，系統安全檢測機制針對相關裝備安裝介面進行檢測及感應回饋，為確保安全、可靠度與效能，以避免任務執行前或過程中衍生不必要問題。	

二	計畫目的	近幾年科技發展，各項載具也隨之發展進步，載具底盤須精確地且有順序組裝，以有效發揮其設計性能，因此如何排除人為疏忽，確保各部位零組件組裝確實到位，提高作業效率。 載具經年累月行駛操作，其振動導致部分零組件鬆動，衍生機械損傷，造成任務執行上負擔。因此透過反饋控制訊號，即時掌握系統狀態，有助即時發現、處置鬆動零組件，提高機器設備運作效益。 本研究主要利用傳感器與感應機制，整合於裝置，裝置具有控制程制及監控，藉以輔助人員正確且精準地安裝；另該裝置可透過偵測與分析，系統來執行零組件異常，並持續地監控狀態，透過訊號的反饋，可有效掌握載具現階段的健康狀況，可縮短原本 20%作業時間且能由保有相關組裝紀錄。
三	研究議題	本案研究議題內容於下列分述如後： 一、以載具輪區安裝介面為標的，開發具五組感應式扭力偵測之扭力傳感套筒組與扭力控制器，並提出一套完整的安裝輔助監管系統，主要針對底盤輪區介面安裝順序及鎖固順序，並使用扭力扳手逐一檢驗螺栓鎖固情形，且無相關檢查扭力記錄功能。此鎖固及檢驗方法不僅耗時且費工，人員亦有檢查標準不一致和疏忽之情事發生，易質疑檢查結果準確性。因而需要發展一套兩階段式介面安裝輔助監管系統，使所有的介面鎖固施作工序都能依設計正確地且精準地執行且提高鎖固的效率與品質。 二、載具因經年累月操作，導致部分零組件鬆動，開發防鬆脫感應墊圈與扭力傳感器、扭力控制器，提出一套系統安全檢測系統，藉由感應墊圈偵測到的應變量差來量測與監控，紀錄鎖固件的緊固狀況，搭配感應裝置，讓使用者可以清楚檢視鎖固狀況，預防鎖固件因振動或其他原因出現鬆動，引起裝備重大故障。為了避免這種風險，原先做法是定期對鎖固件進行檢查，檢查螺栓和螺帽之間是否出現鬆動，若鬆動則必須進行校正。然而人工定期檢測的成本高，且亦有檢查標準不一致和疏忽之情事發生。所以需要發展系統安全檢測系統，便能在其執行任務前排除人為因素，確實檢查，確保任務安全及其設計性能之發揮。
四	運用構想	本案運用構想研究裝置區分下列內容如後： 一、介面安裝輔助監管系統： 透過扭力自動安裝系統，執行輪區總成及次總成零件安裝結合，精簡安裝作業流程使用時間及人力，並藉由記錄扭力值以提高輪區組裝品質，並可追溯相關記錄以驗證產品可靠度。 二、系統安全檢測： 偵測各鎖固件扭力變化，並以自動判斷異常的方式進行實驗驗證透過訊號的反饋，此數據收集並進行分析，預防鎖固件因振動或其他原因出現鬆動，以避免裝備引起重大故障。

		三、 針對本案人員預期可獲得的訓練如下： (一) 鎖固螺栓之扭力控制原理與分析 (二) 結合實際應用並熟悉即時感測器訊號偵測 (三) 可靠度測試驗證分析能力
五	技術備便水準評估	本案研究載具傳動介面安裝輔助監管暨系統安全檢測開發研究，建構並整合軟、硬元件與其他支援配件之技術，屬應用研究中關鍵功能分析範疇，故評估為 TRL 5。
六	期程工項	第一階段（112年度）: 1. 系統規劃 2. 控制器設計 3. 輔助監管及系統安全檢測初步規劃。 第二階段（113 年度）: 1. 裝置機構開發 2. 裝置零組件開發設計與製作 3. 裝置機電整合 4. 輔助監管及系統安全檢測設計開發 第三階段（114 年度）: 1. 系統整合測試與實現 2. 系統控制邏輯除錯與設計 3. 系統耐久測試 4. 系統之準確性與可靠度測試

七　成本分析

一、申請補助經費：　　金額單位：新臺幣元

執行年次 / 補助項目	112年	113年	114年	全程總經費
業務費 (a+b+c)				
a.研究人力費				
b.材料、耗材及雜項費用				
c.差旅費				
研究設備費				
管理費				
合計				

二、研究人力費：　　金額單位：新臺幣元

類別	金額	請敘明在「國防先進科技研究計畫」內擔任之具體內容、性質、項目及範圍（如約用專任人員，請簡述其於計畫內所應具備之專業技能、獨立作業能力、預期績效表現及相關學經歷年資等條件）及計算方式
主持人		主持並監督計畫之進行及整體策劃工作暨實驗規劃、執行、資料綜整與分析。
共同主持人		協助主持並監督計畫之進行及整體策劃工作暨實驗規劃、執行、資料綜整與分析。
兼任助理		由碩士生擔任，共計6名 文獻蒐集及整理，協助實驗執行及檢測分析。
合計		

八　預期成果

本計劃以介面安裝輔助監管，使所有的螺栓施作工序都能依設計正確地且精準地執行，並能持續地監控鎖固後各螺旋緊固件之緊固狀態，除了確保裝備的組裝品質，提升良率，當組裝過程有異，系統提出警示可及時修正組裝程序並釐清責任。在鎖固完成後，將鎖固紀錄存取於資料庫，供後續維修人員檢修依據外，亦可應用於大數據分析進而了解整體施工品質、檢修工具品質。系統安全檢測，依據相關資料庫，能及時追蹤狀態，並了解目前零組件結合狀況，能有更充裕的時間處理或調度資源，有效縮短工程人員故障評斷時間，縮短裝備的平均維修時間(MTTR)提升可靠度及備料的精準度。